

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département Génie de l'Environnement

Mémoire de Master en Génie de l'Environnement

**ETUDE COMPARATIVE DES METHODES DE
TRAITEMENT DES REJETS DE L'INDUSTRIE
AGROALIMENTAIRE**

FELLAHI Imane

Sous la direction de : Mme Ouiza KITOUS

Docteur ENP

Mme Fadila DJOUADI BELKADA

Doctorante ENP

A.R/CRTSE

Présentée et soutenue publiquement le 03/07/2017

Composition du Jury :

Président

M. H.GRIB

Professeur ENP

Promoteur

Mme O. KITOUS

Docteur ENP

Co-promoteur

Mme F. BELKADA

Doctorante ENP

A.R/CRTSE

Examineur

M. A.MAZIGHI

Maitre-assistant ENP

ENP 2017

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département Génie de l'Environnement

Mémoire de Master en Génie de l'Environnement

**ETUDE COMPARATIVE DES METHODES DE
TRAITEMENT DES REJETS DE L'INDUSTRIE
AGROALIMENTAIRE**

FELLAHI Imane

Sous la direction de : Mme Ouiza KITOUS

Docteur ENP

Mme Fadila DJOUADI BELKADA

Doctorante ENP

A.R/CRTSE

Présentée et soutenue publiquement le 03/07/2017

Composition du Jury :

Président

M. H.GRIB

Professeur ENP

Promoteur

Mme O. KITOUS

Docteur ENP

Co-promoteur

Mme F. BELKADA

Doctorante ENP

A.R/CRTSE

Examineur

M. A.MAZIGHI

Maitre-assistant ENP

ENP 2017

ملخص

في اطار الجهود المبذولة للحد من تلوث المياه وتأثيراتها على البيئة، انجز تركيب من المؤلفات التي تتعامل مع نفايات الصناعات والهدف من هذه الدراسة هو تحديد الأسلوب الأكثر فعالية .الغذائية ومختلف طرق علاجها, وكذلك دراسة مقارنة لهذه الاخيرة لعلاج نفايات كل قطاع من هذا المجال الصناعي

كلمات البحث

معالجة الفيزيائية والكيميائية، المعالجة البيولوجية، عمليات الأوكسدة المتقدمة، والعمليات المشتركة- *صناعة المواد الغذائية،

Abstract

As part of our efforts to reduce water pollution and its impact on the environment, we have carried out this bibliographic synthesis to review the discharges of the agro-food industries and to compare the different treatment processes.

The objective of this study is to determine the most efficient waste treatment of each sector of this industry

Key words: agro-food industry, physicochemical treatment, biological treatment, advanced oxidation processes, combined processes

Résumé

Dans le cadre des efforts consacrés pour la réduction de la pollution de l'eau et de ses impacts sur l'environnement, nous avons réalisé cette synthèse bibliographique qui s'intéresse aux rejets des industries agroalimentaires et les différents procédés de traitement, ainsi qu'une étude comparative de ces derniers.

L'objectif de cette étude est de déterminer le procédé le plus efficace pour les traitements des rejets de chaque filière de cette industrie.

Mots clés : industrie agroalimentaire, traitement physico-chimique, traitement biologique, procédés d'oxydations avancés, procédés combinés.

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Dieu, notre créateur de m'avoir donnés la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce modeste travail.

*Je tiens tout d'abord à remercier les membres de notre jury, d'avoir accepté d'assister et évaluer ce travail : merci à **Monsieur GRIB Houssine** d'avoir accepté d'être président du jury de ma soutenance et à **Monsieur MAZIGHI Ahmed** d'avoir accepté d'examiner mon mémoire de master.*

*Un grand Merci à **MADAME KITOUS Ouiza** ma promotrice et **Madame BELKADA DJOUADI Fadila**, ma Co-promotrice, de m'avoir permis de réaliser ce travail, de m'avoir encadrés durant ce travail, et m'avoir toujours soutenus.*

*Un grand remerciement à tous les enseignants de **L'Ecole National Polytechnique** pour leurs qualités scientifiques et pédagogiques.*

Enfin, nos derniers remerciements iront tout simplement à nos amis et à nos familles, qui même si c'est parfois de loin, nous ont toujours soutenus et nous ont permis d'arriver là où nous sommes aujourd'hui !

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction	09
1 Généralité sur l'industrie agroalimentaire.....	13
1 - 1 La nature technique et économique de l'activité.....	13
1 - 2 Description des rejets de l'industrie agroalimentaire par secteur d'activité.....	14
1 - 2 - 1 L'industrie oléicole.....	14
1 - 2 - 2 L'industrie laitière.....	17
1 - 2 - 3 L'industrie sucrière.....	18
1 - 2 - 4 L'industrie de viande (cas des abattoirs).....	19
2 Les techniques de traitement des effluents.....	22
2 - 1 Description générale de la chaîne de traitement.....	22
2 - 2 Traitement des rejets de l'industrie de fabrication d'huiles (cas des margines).....	24
2 - 3 Traitement des effluents de laitière.....	33
2 - 4 Traitement des rejets de l'industrie sucrière.....	35
2 - 5 Traitement des rejets des abattoirs	39
3 Etudes comparative des méthodes de traitement des rejets de l'industrie agroalimentaire	48
3 - 1 L'industrie d'huile (cas des margines).....	48
3 - 2 L'industrie laitière.....	54
3 - 3 L'industrie sucrière.....	58
3 - 4 L'industrie de viande.....	61
Conclusion général.....	68
Bibliographie	70

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Principales composantes des margines	16
Tableau 2 Conséquences environnementales des rejets des margines	16
Tableau 3 La composition limite des effluents de la distillerie selon la norme de OMS (IS: 506-1980) [18].....	19
Tableau 4 les procédés applicables aux traitements d'eaux usées en fonction des types des polluants dominants.....	23
Tableau 5 traitement des margines par electocoagulation	28
Tableau 6 résultats de combinaison de procédés coagulation-floculation/ électrolyse	32
Tableau 7 Performances épuratoires des différents procédés de traitement.....	35
Tableau 8 l'efficacité des procédés membranaire	41

Liste des figures

Figure 1 Les étapes de traitement des rejets de l'IAA.....	22
Figure 2 : Procédés de traitement des rejets de l'industrie agroalimentaire	24
Figure 3 Différents traitements aérobies des effluents laitiers	35

LISTE DES ABREVIATIONS

ASBR : réacteur discontinu anaérobie

BRM : bioréacteur à membrane

COT : carbone organique totale

DBO : demande biologique en oxygène

DCO : demande chimique en oxygène

FAD : Flottation d'air dissous

FCMR : batch-Fed Continuously Mixed anaerobic Reactor

FPR : filtre plantés des roseaux

IAA : industrie agroalimentaire

MF : microfiltration

MES : matières en suspension

NTK : azote Kjeldahl

NT : azote totale

OI : osmose inverse

POA : procédés d'oxydation avancés

PT : phosphates totale

UAF : filtres anaérobies ascendants

UF : ultrafiltration

UV : ultraviolet

SBR : réacteur discontinue séquentiel

TSH : temps de séjour hydraulique

Introduction Général

Introduction

L'histoire du développement industriel s'est construite en partenariat avec l'eau. Les usines sont toujours implantées au bord de l'eau (rivière, canal ou mer) pour des raisons diverses :

- Les commodités de transport de matières premières et de produits finis.
- La possibilité de faire accomplir à l'eau des tâches industrielles multiples et variées (toute l'histoire des techniques industrielles est liée à l'utilisation de l'eau).
- Les commodités de rejet de sous-produits ou de déchets générés au cours des opérations de fabrication.

Compte tenu des impacts sur l'environnement et des règlements en vigueur ou en devenir, la gestion des eaux et des déchets, comprenant notamment la mise en œuvre de procédés de traitement et de valorisation, est devenue l'un des enjeux majeurs de notre société.

L'industrie agroalimentaire prend conscience de son impact environnemental et des conséquences, mais a encore du chemin à accomplir.

Face à la compétitivité industrielle et aux enjeux environnementaux et réglementaires actuels, l'industrie agro-alimentaire est amenée à développer des modes de production plus performants et plus respectueux à l'environnement.

L'industrie agroalimentaire est le secteur industriel se rapportant à la transformation et la revalorisation des produits agricoles, celle-ci génère chaque année plusieurs milliers de tonnes de matières résiduelles dont l'impact n'est pas minime sur l'environnement.

La réglementation sur la mise en décharge et l'épandage des effluents industriels ainsi que l'augmentation de la taxe sur les rejets mises en application dès le début des années 2000 pèsent sur ces industries, gourmandes en eau et fortement productrices d'effluents. Plusieurs chercheurs et organismes travaillent sur la problématique de réduction de ces effluents et cherchent à concevoir des procédés pour réduire les volumes d'eau ou de produits chimiques consommés tout en maintenant la productivité et la sécurité alimentaire des produits

Ces industries agroalimentaires (IAA) sont génératrices des principales formes de pollution suivantes

- ✓ **Pollution hydrique** due aux eaux de procédés, eau de nettoyage, etc. Ces rejets sont, de leur origine, riches en matières organiques et renferment des acides aminés, des sucres et des hydrates de carbone, des graisses animales et végétales, des acides organiques, des alcools et des aldéhydes et cétones, sous forme originelle ou modifiée suite à la fermentation, etc.
- ✓ **Déchets solides**

La transformation industrielle des aliments nécessite une énorme quantité d'eau et génère des eaux usées très polluées.

La maîtrise du traitement des eaux usées issues des activités des entreprises dans le secteur agroalimentaire constitue un enjeu majeur. En effet, plusieurs lois et règlements mettent la pression sur les entreprises afin de les obliger à traiter leurs eaux usées huileuses et riches en matières organiques issues de leurs différentes activités.

Plusieurs systèmes d'épuration et de traitement de ce rejet liquide sont cités dans la littérature. Les procédés de traitement dont nous avons pris connaissance sont nombreux, et il serait difficile de les décrire dans cette synthèse bibliographique. Toutefois, les procédés de traitement envisageables pour l'élimination de la charge polluante de ces rejets peuvent être classés selon trois catégories, et peuvent être utilisés seuls ou combinés : procédés physiques, chimiques et biologiques.

Il n'est pas question dans cette thèse d'entrer dans tous les détails, ni de décrire particulièrement les procédés de traitement de ces rejets agroalimentaire. L'objet de cette thèse est d'évaluer et d'analyser ces procédés afin de faire une étude comparative de ces derniers et de déterminer les méthodes de traitement les plus efficaces pour chaque filière de IAA.

De ce fait, ce projet de master permet d'apporter une réponse à la question principale suivante : *Quel est la méthode de traitement la plus efficace pour traiter les rejets de l'industrie agroalimentaire selon sa catégorie et sa composition afin de s'assurer, que les eaux rejetées à l'égout municipal ou dans la nature, respectent la réglementation ?*

Le mémoire s'articule autour de 2 chapitres :

Le premier chapitre présente des généralités sur l'industrie agroalimentaire et ses différentes filières, ainsi qu'une description de ses rejets par secteur d'activité et les différents procédés de traitement existant.

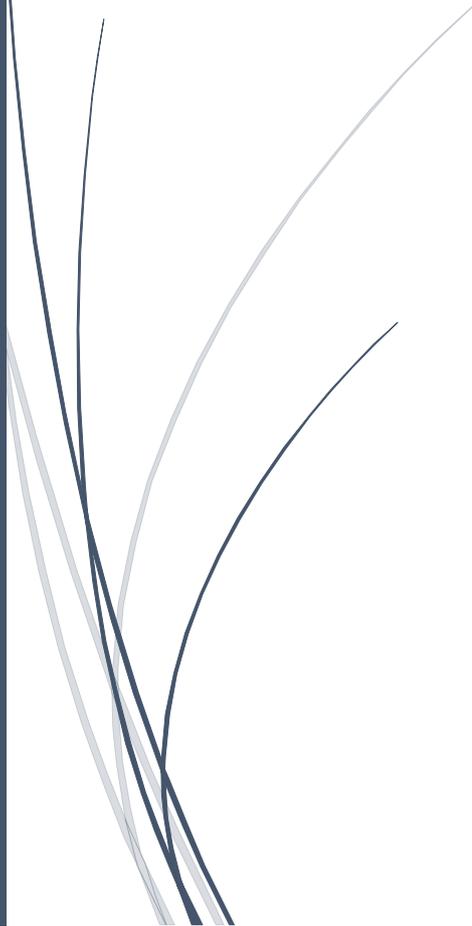
La deuxième partie de ce travail sera consacrée, quant à elle, à la mise en place d'une étude comparative des méthodes de traitement des rejets de l'industrie agroalimentaire afin de ramener les paramètres de pollution étudiés (pH, DCO, MES,) à des valeurs qui respectent la réglementation et les normes.



ENP 2017

CHAPITRE 1

GENERALITE SUR L'INDUSTRIE AGROALIMENTAIRE



1 Généralité sur l'industrie agroalimentaire

L'industrie agroalimentaire est le secteur industriel se rapportant à la transformation et la revalorisation des produits agricoles. Le secteur de l'industrie agroalimentaire est généralement caractérisé par une inégalité dans la répartition du niveau de la production aussi bien journalière qu'annuelle. En effet, ce secteur présente des différences considérables des régimes de travail dû au fait de l'utilisation variable des capacités de production selon les saisons comme les sucreries, les fabriques de jus de fruits, les conserveries, etc [1].

1 - 1 La nature technique et économique de l'activité

Le secteur agroalimentaire se situe entre l'agriculture et la distribution. Il regroupe toutes les industries de transformation des produits issus de l'agriculture (produits vivants, élevés, plantés ou fruits cultivés) en biens alimentaires. Ceux-ci sont ensuite commercialisés dans des circuits de distribution ou en restauration [2].

On peut scinder le secteur en huit grandes familles :

Industrie de la viande : abattage du bétail, de la volaille, charcuterie et conserverie de viande.

Industrie laitière : fabrication du lait, du beurre, des yaourts, des fromages, craquage du lait pour l'industrie alimentaire (caséine, lactose, protéines ultra-filtrées..), fabrication de crèmes glacées et glaces.

Fabrication de produits alimentaires élaborés : conditionnement, stockage et préparations à base de fruits, légumes, poissons, plats cuisinés et confitures.

Fabrication de produits à base de céréales : farine, pain et pâtisserie industriels, biscuits, biscottes, semoules et pâtes alimentaires, malt, amidon, féculés et produits dérivés, aliments pour animaux d'élevages et domestiques.

Fabrication d'huiles, de corps gras et de margarines.

Industrie sucrière.

Fabrication de produits alimentaires divers : chocolat, confiserie, café et thé conditionnés, épices, herbes aromatiques, condiments, vinaigres, sauces préparées, aliments diététiques, aliments pour bébés, produits de régime, petits déjeuners, entremets, desserts, bouillons, potages, levures...

Fabrication de boissons et alcools : eaux minérales, jus de fruits et de légumes, les sodas, boissons alcoolisées, autres boissons non alcoolisées.

1 - 2 Description des rejets de l'industrie agroalimentaire par secteur d'activité

1 - 2 - 1 L'industrie oléicole

Les pays méditerranéens sont très concernés par les problèmes de pollution causés par la production des margines, qui sont les effluents provenant de la production d'huile d'olive

En parallèle avec son activité principale, l'industrie oléicole génère deux résidus, l'un liquide (les margines) et l'autre solide (les grignons) Dans les unités de trituration dotées d'équipements relativement modernes, le processus de production met en jeu l'addition de 110 kg d'eau pour 100 kg d'olive. Ceci produit alors plus de 1500 kg de margine par tonne d'olive traitée [3]. Les margines ainsi produites sont rejetées soit dans des cours d'eau, soit épandues sur le sol.

Ces effluents, fortement chargés en matières organiques, affectent la qualité des eaux dans lesquelles elles sont déversées. En plus de leur aspect très coloré, ces effluents ont un fort pouvoir polluant dû à une forte charge en demande chimique et biologique en oxygène (DCO et DBO5) et à la présence de composés phénoliques et aromatiques qui sont très difficilement biodégradables. Le traitement des effluents liquides des huileries est l'un des plus importants problèmes environnementaux des pays méditerranéens. Jusqu'à nos jours, le traitement des margines constitue un problème complexe vu la qualité et la quantité des substances chimiques qu'elles renferment. En effet, l'application d'un traitement simple s'avère insuffisante et incomplète [4], [5]. De nombreuses études ont été effectuées dans le but de traiter ces effluents et réduire leurs effets négatifs en proposant des méthodes économiques de traitement telles que les traitements biologiques, les traitements chimiques par oxydation ou par coagulation floculation.

Les margines ou résidu liquide, sont constituées des eaux de végétation de l'olive, souvent mélangées à de l'eau qu'on ajoute au cours de l'opération. Ces margines présentent un pouvoir polluant élevé, mais variable ; elles doivent donc faire l'objet d'un traitement ou d'une gestion spécifique afin d'éviter les impacts négatifs sur l'environnement. En fonction du système de séparation utilisé dans l'opération d'extraction de l'huile et des stratégies de gestion des effluents liquides en général, on obtient des margines de quantité et de composition diverse [6].

Origine des margines

Le processus de trituration des olives produit principalement l'huile d'olive vierge et l'huile de grignon (huile secondaire extraite par des solvants organiques) et engendre deux résidus l'un liquide, les margines et l'autre solide, les grignons. Les olives contiennent environ 20% d'huile, 30% de grignons et 50% d'eau de végétation [7] , [8], [9].

Les margines sont composées de 40 à 50% de l'eau végétal qui provient du fruit (olive) et le reste de l'eau de fabrication ajoutée lors du processus de trituration [10], [11], [9].

Caractérisation physico-chimique des margines

Les margines se présentent comme un liquide résiduel aqueux, de couleur brune rougeâtre à noire avec une forte odeur d'olive et un aspect trouble [4], [9].

La composition des margines a été étudiée par plusieurs chercheurs et comporte approximativement 83 à 94% d'eau, 4 à 16% de matières organiques et 0,4 à 2,5% de substances minérales [12],[4],[9].

La caractérisation physico-chimique des margines est généralement tributaire des techniques et des systèmes retenus pour l'extraction d'huile d'olives et diffère d'un pays à l'autre.

Les analyses menées sur les margines peuvent nous renseigner sur les intervalles de variation de leurs différents composants chimiques [13], [14], [9].

Le tableau 1 présente les principales composantes des margines

Tableau 1 Principales composantes des margines [14]

Composant	% en poids de la matière fraîche
Matière sèche	1,4-17
Matières minérales	10-15
Sucres divers	30-50
Graisses et huiles diverses	12-35
Composés phénoliques	5,0-25
Azote organique	<10%

Problématique environnementale

Le rejet des effluents des industries productrices d'huiles d'olive est un problème majeur surtout dans les pays du bassin méditerranéen. Ces eaux fortement polluées causent de sérieux dégâts environnementaux. L'absence de méthodes de traitement adaptées pousse les propriétaires de moulins à huile à rejeter ces eaux dans la nature sans aucun contrôle ou à surcharger avec ces substances toxiques un réseau d'égout pas adapté.

Les conséquences de ces rejets sur l'environnement sont résumées dans le tableau 2

Tableau 2 Conséquences environnementales des rejets des margines [15]

	Cause	Effet
Sols	-composés phénoliques - acidité - huiles et matières grasses - MES	- sols obturés et suffoqués - mauvaise odeur - pollution de l'aquifère - coloration des eaux naturelles - effet phytotoxique sur la population microbienne
Espèces aquatiques	- matières organiques - huile et MG - MES - composés phénoliques	-augmentation de la demande en O ₂ - formations des croûtes - dégradation de l'esthétique - toxicité de la microflore
Egouts	- acidité - MES	- la corrosion des matériaux - destruction de l'écoulement - putréfaction
Station d'épuration des eaux usées	- acidité - MES - huile et matière grasse - matières organiques - polyphénols	- perturbation persistances de l'activité des boues - perturbation de l'activité des digesteurs des boues à cause de l'aspect saisonnier

1 - 2 - 2 L'industrie laitière

Généralement les problèmes environnementaux de l'industrie laitière se situent au niveau de l'eau car elle rejette de gros volumes d'eaux résiduelles à pH variable et très riches en matière organique et bactériologique. Elle doit être dépolluée avant rejet dans le milieu naturel. Ce traitement génère des boues dont il faut aussi tenir compte.

Les eaux usées de l'industrie laitière sont essentiellement composées de matière organique carbonée présente sous forme soluble (concentrations élevées en lactose, acides aminés, petits peptides...) provenant essentiellement des pertes de matières premières au cours du traitement et de la transformation du lait. Les produits présents dans les effluents laitiers sont identiques ou dérivent de ceux de la matière première (lactose, protéines, lipides, sels minéraux), plus les produits (alcalins et acides) de nettoyage en place (NEP).

Le traitement de ce type d'effluents est donc axé en priorité sur l'élimination du carbone. Compte tenu de leur excellente biodégradabilité, les procédés de dépollution par voie biologique occupent une place prédominante dans le traitement des eaux usées issues de l'industrie laitière. Les procédés physico-chimiques en traitement complet des eaux usées laitières ne permettent qu'une épuration très médiocre car ils n'assurent essentiellement que l'élimination des matières en suspension et très peu celle des composés solubles. En conséquence, ils sont généralement utilisés comme prétraitement des effluents en tête d'un dispositif d'épandage ou d'une station d'épuration biologique. Le lait et le lactosérum sont des fluides majeurs à traiter avec l'objectif final de les concentrer.

Le lactosérum est issu des procédés de transformation du lait en fromage (sous-produit du caillage du lait). Compte tenu de sa demande chimique en oxygène élevée, il peut représenter la majeure partie de la charge polluante émise s'il n'est pas utilisé.

Il correspond au liquide translucide et jaunâtre qui se sépare du caillé après coagulation du lait lors de la fabrication du fromage. Ce sérum est riche en protéines de lait et en éléments nutritifs. Dans la majorité des cas, le lactosérum est transformé en poudre. Cependant il peut se trouver sous forme de produits intermédiaires tel que les lactosérums liquides ou concentrés.

Le lactosérum a longtemps été considéré comme un déchet de l'industrie laitière. L'introduction des techniques séparatives a ouvert des voies de valorisation des constituants du lactosérum

Composition du lactosérum

Selon le procédé de coagulation et la composition initiale du lait et la variation de certains paramètres (la saison, la race des animaux, le type d'alimentation, etc.), la composition du lactosérum peut varier sensiblement

D'après [16], [17] on constate que les lactosérums sont riches en lactose et potassium. Dans le lactosérum acide une partie du lactose a été transformée en acide lactique ; les lactosérums doux sont pauvres en calcium (celui-ci reste dans le lait caillé pour participer à la coagulation des protéines), alors que les lactosérums acides sont riches en calcium

Pouvoir polluant du lactosérum

Pendant longtemps, le lactosérum a constitué un effluent de l'industrie fromagère. Par sa composition riche en matière organique, son rejet dans l'environnement constitue une source de pollution à cause de sa demande biochimique en oxygène qui est très élevée entre 32000 à 60000 mg/L (Cheryan, 1998). Le lactosérum engendre une pollution organique importante soit : 1 litre correspond à environ 85% de la pollution journalière générée par un habitant [17].

1 - 2 - 3 L'industrie sucrière

L'industrie du sucre est l'une des principales industries qui ont été incluses dans la liste des industries polluantes par la Banque mondiale. Différentes agences de surveillance de la pollution ont été obligatoires pour chaque industrie pour mettre en place des stations d'épuration des eaux usées. Dans le système de traitement, les traitements individuels des effluents ne sont pas efficaces pour gérer la limite déchargeable.

Normes des rejets de l'industrie sucrière

Tableau 3 La composition limite des effluents de la distillerie selon la norme de OMS (IS: 506-1980) [18]

Caractéristiques	Pour déversement dans Cours d'eau	Pour déversement dans les réseaux d'assainissement	Décharge sur terre (Irrigation)
pH	5.5–9.0	5.5–9.0	5.5–9.0
DBO (mg/L)	100	500	500
Solide en suspension totale (mg/L)	100	600	–
Huile et graisse (mg/L)	10	100	6–10

L'industrie de viande (cas des abattoirs)

Les abattoirs et les industries de la viande de volaille et de transformation du poisson utilisent une énorme quantité d'eau. Toute la chaîne de la livraison, l'abattage et le traitement du bétail au nettoyage final est soumise à des règles d'hygiène strictes. C'est pourquoi de grandes quantités d'eaux usées sont fortement polluées par des substances organiques contenant du sang et des protéines dissoutes, de la graisse, de la paille, de la sciure de bois et des résidus d'excréments d'animaux. Si ces eaux usées ne peuvent être éliminées rapidement et de manière fiable, les nuisances importantes des odeurs, les germes et les attaques d'insectes menacent la plante.

Caractérisation des effluents

Les effluents d'abattoir sont composés du mélange des eaux de lavage du hall d'abattage contenant du sang en quantité variable selon le soin apporté à sa récolte, et des eaux de :

- lavage de la triperie-boyanderie et les contenus digestifs,
- lavage des stabulations (lisiers, purin...)
- lavage des aires de lavage pour camion.

Ces effluents ont, le plus souvent, un aspect rougeâtre et présentent une importante charge en éléments figurés : débris de parage, caillots de sang, morceaux de cornes et d'onglons, matières stercoraires, fèces, paille.

Il n'est pas possible d'établir de valeurs de référence des caractéristiques physico-chimiques des effluents bruts d'abattoir. D'une part, raisonner en termes de flux journaliers n'est pas possible face à un parc d'abattoirs de capacités très diverses. D'autre part, les concentrations sont le reflet de l'activité journalière aussi bien quant au volume d'eau consommé qu'en termes de tonnage traité.

Impact environnemental des effluents d'abattoirs

Avant tout, le premier impact environnemental attribuable à l'abattoir est sa consommation d'eau : l'utilisation d'importante quantité d'eau pour le lavage en fait un «mauvais élève» dans le panorama industriel où la tendance générale est de converger de plus en plus vers «l'usine sèche». Les volumes d'eau consommés semblent toutefois incompressibles dans les installations modernes : puisque toutes les opérations de production de viande impliquent l'utilisation d'eau potable, préserver la ressource ne pourrait se faire au prix d'un risque accru pour le consommateur.

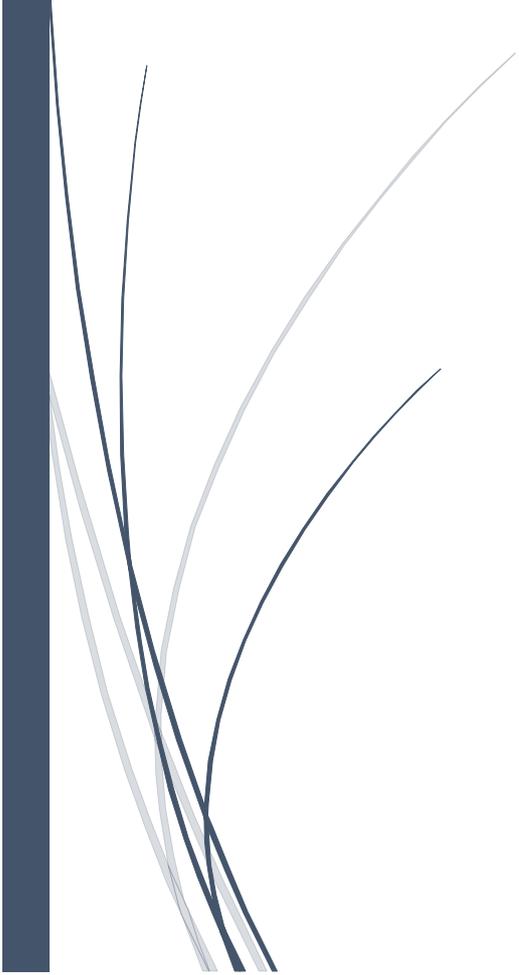
La nature organique de l'effluent implique que, dans une situation dégradée où il serait mal pris en charge par la filière de traitement, il peut perturber le milieu récepteur dans lequel il est rejeté : il constitue une source de nutriments qui va déstabiliser les réseaux trophiques du milieu, favorisant la croissance des populations d'espèces saprophytes qui vont coloniser le milieu et dominer les autres espèces, amenant l'écosystème concerné à une réduction de sa biodiversité [19].



ENP 2017

Chapitre 2

Les techniques de traitement des effluents



2 Les techniques de traitement des effluents

Les techniques de dépollution des effluents industriels sont proches de celles employées dans les stations d'épuration (décantation, floculation,...). Seules peuvent changer les conditions d'utilisation, les effluents industriels étant généralement très chargés, d'autant que la qualité des eaux épurées est néanmoins moindre que celle requise pour les stations de traitement de l'eau potable par exemple [20].

Le choix d'un procédé de traitement ou de la combinaison de plusieurs procédés dépendra :

- des caractéristiques de l'eau résiduaire ;
- de la qualité requise pour l'effluent ;
- du coût et de la disponibilité des terrains ;
- du futur sur classement des normes de rejets (anticipation sur la réglementation).

2 - 1 Description générale de la chaîne de traitement

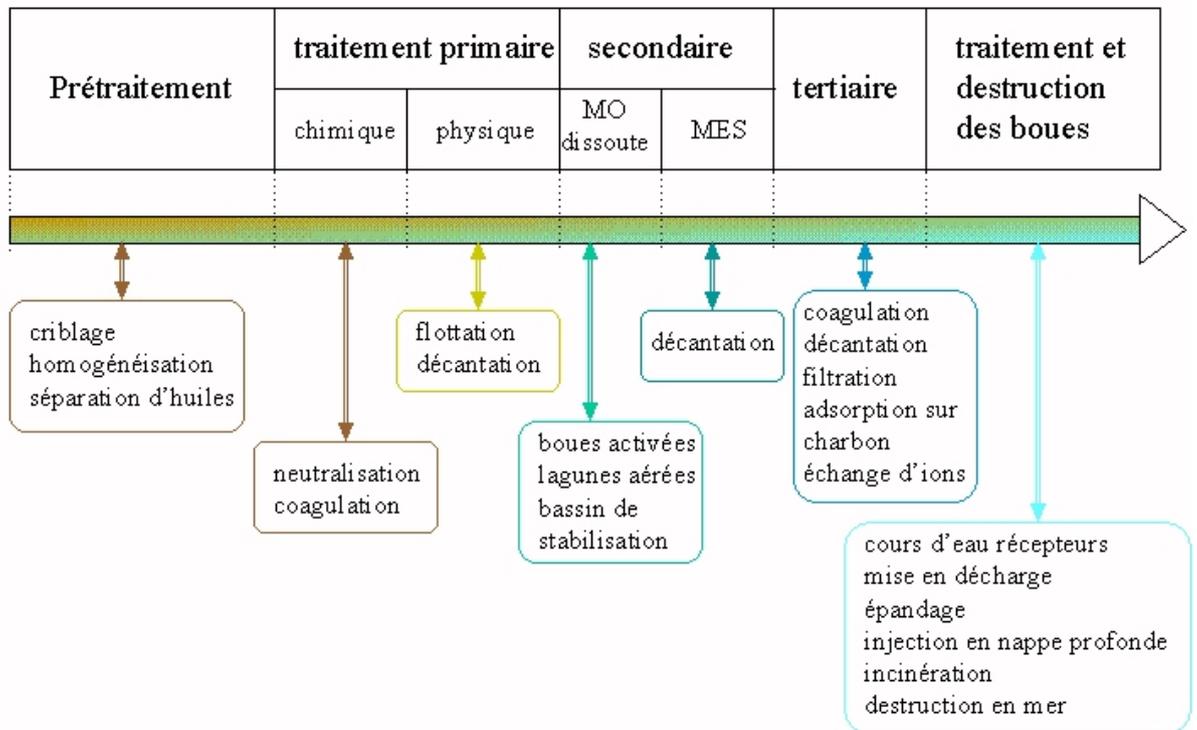


Figure 1 Les étapes de traitement des rejets de l'IAA

Pour adapter le traitement à la nature de l'effluent, Le tableau 4 regroupe les procédés applicables aux traitements d'eaux usées en fonction des types des polluants dominants.

Tableau 4 les procédés applicables aux traitements d'eaux usées en fonction des types des polluants dominants [20].

polluant	Procédé
DBO	procédé biologique aérobie (boues activées, lagunes aérées,...) procédé biologique anaérobie, injection en nappe profonde
MES	décantation, flottation, criblage
DCO, COT	adsorption sur charbon
Azote	digestion statique, décomposition ammoniacale, nitrification, dénitrification
Phosphore	précipitation à la chaux et aux sels de fer ou d'alumine
Métaux lourds	échange d'ions, précipitation chimique
MO dissoute	échange d'ions, osmose inverse, électrodialyse

Plusieurs systèmes d'épuration des rejets liquides de l'IAA sont cités dans la littérature. Les procédés de traitement dont nous avons pris connaissance sont nombreux, et il serait difficile de les décrire dans cette synthèse bibliographique. Toutefois, les procédés de traitement envisageables pour l'élimination de la charge polluante de ces industries peuvent être classés selon trois catégories, et peuvent être utilisés seuls ou combinés :

- procédés physiques,
- procédés chimiques,
- procédés biologiques.

Nombre de ces traitements sont applicables individuellement ou en combinant plusieurs d'entre eux pour atteindre le résultat voulu.

2 - 2 Traitement des rejets de l'industrie de fabrication d'huiles (cas des margines)

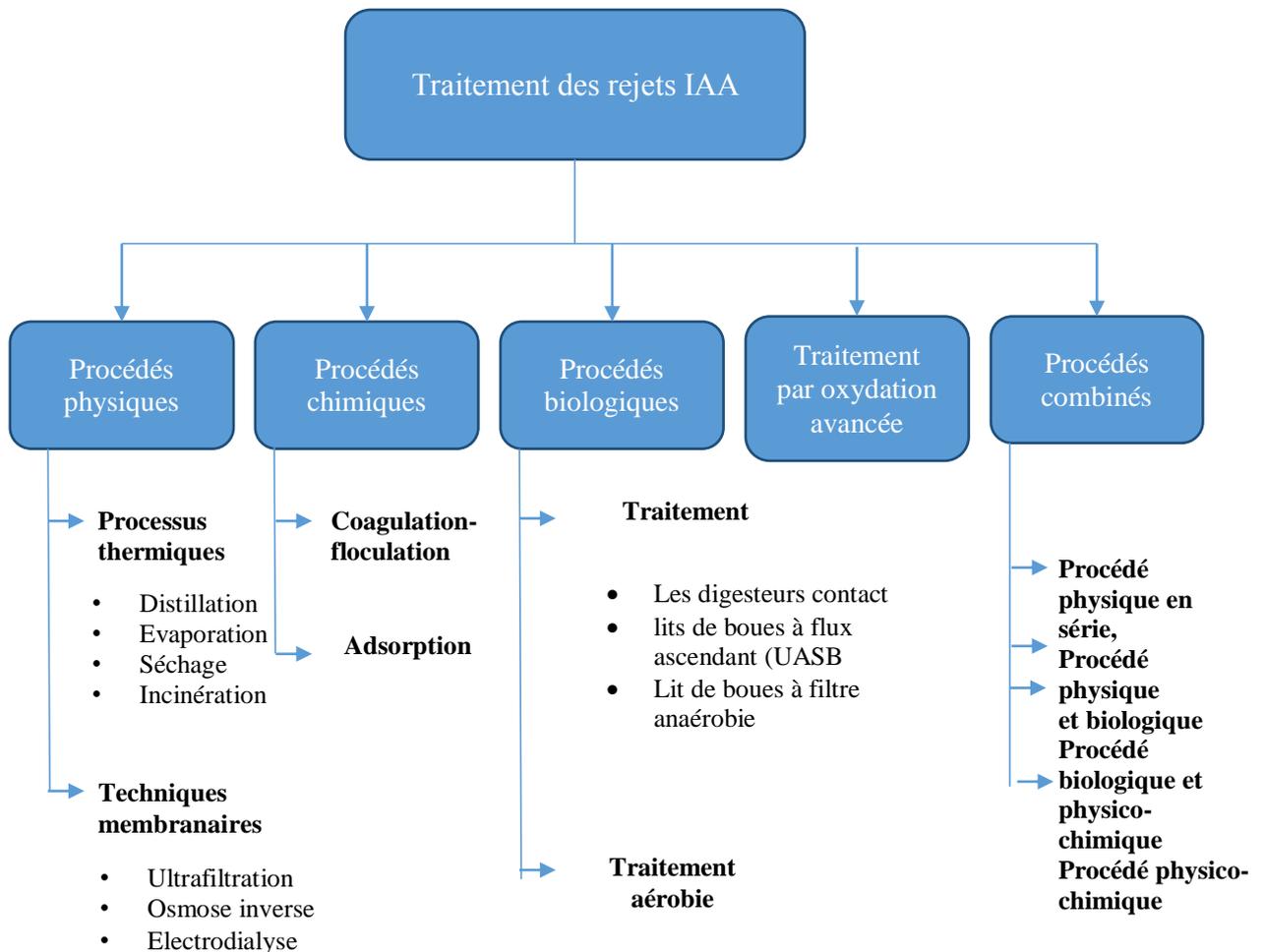


Figure 2 : Procédés de traitement des rejets de l'industrie agroalimentaire

➤ Procédés physiques :

Les procédés de traitement physique des effluents sont des opérations de séparation des matières minérales et organiques solubles et insolubles de la phase aqueuse.

➤ Processus thermiques

Traitement de la marge brute par distillation suivi de neutralisation par la chaux

Les résultats obtenus par E. OUABOU et al [21], montrent que la distillation peut être une technique efficace de traitement des eaux résiduelles des huileries. Le meilleur abattement de la matière organique, exprimée en DCO et en particulier les composés phénoliques (92±

3%, $95\pm 3\%$ respectivement), montre l'intérêt de la distillation en tant que technique de traitement de la margine. Le taux d'humidité élevé de la margine ($87\pm 1\%$), rend la distillation encore plus efficace. Le problème de l'acidité élevée du distillat peut être résolu par sa neutralisation par la chaux. Le distillat après sa neutralisation par la chaux peut être réutilisé dans le domaine d'irrigation.

Evaporation

L'évaporation naturelle est tributaire des conditions climatiques. Ce procédé consiste à stocker les margines dans des bassins de faible profondeur (0.7 à 1.5 m). Elles sont ensuite séchées pendant plusieurs semaines selon les conditions climatiques. Cette méthode simple permet d'éviter le rejet des margines dans les égouts et dans les rivières. Durant leur séjour dans les bassins d'évaporation, les margines subissent une autoépuration naturelle par une série de processus de fermentation aérobie et anaérobie. Les agents de cette biodégradation sont surtout des levures qui se trouvent à l'origine dans les olives. La faible biodégradation notée est compensée par l'augmentation de la surface des bassins d'évaporation. Cette compensation est traduite par l'occupation de grandes surfaces de terrain qui sont relativement difficiles à aménager dans les zones peuplées. Ainsi, en essayant d'éviter une pollution hydrique, on risque d'entraîner une pollution atmosphérique.

Evaporation forcée (incinération)

Ce procédé permet d'évaporer d'abord la phase aqueuse des margines et de brûler ensuite la matière organique. Les margines sont nébulisées à l'aide d'une buse spéciale, introduites dans un four où elles seront évaporées. Le résidu solide sera transformé en cendres. L'énergie nécessaire au système est obtenue par combustion de grignon.

➤ **Techniques membranaires**

Les rejets peuvent être aussi traités par des techniques membranaires. Ces processus se basent sur l'utilisation de membranes de filtration qui permettent la séparation des substances dissoutes selon la taille des particules et la charge électrique.

Ultrafiltration

Récemment, Dhaouadi et Marrot, ont utilisé un bioréacteur équipé d'une membrane d'ultrafiltration pour le traitement des margines diluées. Ils ont proposé d'utiliser ce type de traitement au stade de prétraitement pour éliminer les composés phénoliques. Ces procédés

permettent d'éliminer 94% de la DCO initiale. En revanche, ils nécessitent un prétraitement, une demande énergétique élevée et un renouvellement permanent des membranes utilisées [22] d'où le coût élevé du processus

Procédé couplant l'ultrafiltration et un réacteur bipolaire à électrodes en fer planes

L'application du couplage de deux procédés ultrafiltration- réacteur bipolaire permet de réduire considérablement le taux d'abattement de la DCO à 92%.

➤ Adsorption

L'adsorbant le plus communément utilisé pour éliminer les polluants organiques des eaux résiduaires est le charbon actif. **Galiatsatou et al**, ont effectué une étude où le taux d'élimination des composés phénoliques par adsorption sur charbon actif était de l'ordre de 73% après 8h de traitement. Le taux de réduction de la DCO ne dépassait pas 34% après 5h.

Cependant, cet adsorbant est non seulement une matière relativement cher, mais après saturation, le coût de sa régénération pour réutilisation est élevé. D'autant plus que l'adsorption sur charbon actif est généralement limitée pour l'élimination des substances non polaires. Ainsi, d'autres adsorbants organiques et inorganiques de substitution ont été étudiés ces dernières années. **Al-Malah et al**, ont montré que le processus d'adsorption peut se faire sur des argiles activées (bentonite jordanienne). Les pourcentages d'élimination des polyphénols et de la DCO sont respectivement de l'ordre de 81% et 71% après 4 heures de traitement. La réalisation de ce procédé à grande échelle rencontre plusieurs difficultés, vu la quantité d'argile utilisée [23].

➤ Procédés chimiques

Le traitement chimique des effluents est réalisé afin de réduire l'intensité de la coloration et de la charge organique. Il peut être utilisé en tant que prétraitement ou traitement de finition après épuration biologique. Ces techniques sont basées généralement sur les phénomènes de coagulation-floculation ou d'adsorption.

Coagulation-floculation

La coagulation est l'une des méthodes les plus efficaces pour éliminer les matières organiques en suspension. Elle consiste à traiter les rejets avec des produits tensioactifs ou certains coagulants. Ce type de traitement reste le plus global et certainement le moins coûteux par rapport à la masse de matières éliminées.

Coagulation

Achak et al, ont obtenu des réductions de 41% et de 75% en polyphénols, en utilisant respectivement des sulfates d'aluminium et de la chaux comme coagulant. La coagulation par la chaux a donné une réduction de la DCO de l'ordre de 38% tandis qu'avec les sels d'aluminium l'abattement était de 43%. Ce processus peut être utilisé après traitement biologique pour éliminer les matières en suspension et les polluants résiduels. L'inconvénient majeur de ce traitement réside dans le fait qu'on a un simple transfert de la pollution de l'état soluble à l'état boueux.

Electrocoagulation

L'électrocoagulation est un procédé d'électrolyse qui permet la séparation des margines en boues et en liquides biodégradables. Par ailleurs, les polyphénols et certains autres produits toxiques (métaux lourds) sont éliminés.

Khoufi et al, ont étudié la faisabilité du traitement des margines par électrocoagulation en utilisant des électrodes en fer ou aluminium avec addition de H_2O_2 et de chlorure polyaluminium (PAC) comme coagulant. Ils ont trouvé, en utilisant cette méthode comme prétraitement, que les composés phénoliques des margines ont été polymérisés puis sédimentés. Le rapport DCO/DBO5 a diminué de 3.4 jusqu'à 2.3. Ce traitement a permis d'éliminer, respectivement 73.8, 60.7% de composés phénoliques et de DCO après 3 jours.

Israilides et al, ont investigué l'électrocoagulation des margines par l'utilisation d'une anode en Titane-Platine (Ti-Pt) ; ils ont enregistré une réduction de 93% de la DCO et 99.4% en composés phénoliques après 10 heures de traitement [15].

N. Sadi et al [24], ont réalisé une étude du procédé d'électrocoagulation d'une margine pour la traiter et la rendre incolore, pour diminuer sa DCO et son contenu en phénols

Tableau 5 traitement des margines par electocoagulation [24]

Paramètres	Résultats obtenues sur margines brutes	Résultats obtenues après traitement
PH	4.4	/
DCO (g /L)	152.10	75 %
Polyphénols (g/L)	/	89 %
MES (g/l)	11.5	/
Conductivité (mS/cm)	8.3	/
Coloration	Brunes	85%

Trois facteurs (le pH initial, le temps d'électrolyse et le courant imposé) influencent l'efficacité du traitement. Les valeurs optimales de pH, du temps d'électrolyse et du courant imposé ont été évaluées respectivement à 7 unités de PH, 15 minutes de traitement et 0,5 A.

Procédés électrochimiques

Des études ont été menées sur la possibilité de prétraitement des margines avant de procéder à un traitement biologique. Différents types d'anode ont été utilisés pour le traitement des margines comme : Titane-Tantale- Platine-Iridium (Ti-Ta-Pt-Ir), Titane-Platine (Ti-Pt), des électrodes spéciales parallèles d'aluminium, une anode plate parallèle à base du mélange d'oxydes de Titane et Ruthénium. Canizares et al, ont étudié l'oxydation par une anode en diamant. Une minéralisation complète de la DCO et COT a été atteinte [23].

➤ Procédés biologiques

La dégradation biologique, à l'opposé des procédés physico-chimiques, est considérée comme une méthode plus saine, efficace et moins coûteuse pour la réduction des polluants. On distingue deux modes de traitement :

Traitements aérobies

Très chargées en matière organique, les margines ne peuvent pas être traitées directement par voie aérobie. Plusieurs auteurs ont recommandé de leur dilution avant le traitement car l'efficacité de ces procédés est notée pour des DCO de l'ordre de 1g/l. Il existe des microorganismes aérobies (bactéries et champignons) qui peuvent dégrader la totalité des

composés poly aromatiques complexes de hauts poids moléculaires comme les lignines, les tanins et les polyphénols. **Mantzavinos et al**, ont étudié l'effet du prétraitement aérobie en utilisant différentes cultures avant la digestion anaérobie. Ils ont trouvé que la vitesse de dégradation anaérobie avec prétraitement aérobie est environ 2.5 à 4.5 plus grande que la dégradation anaérobie sans prétraitement. Ce prétraitement aérobie a permis de réduire la DCO et la concentration des polyphénols respectivement d'environ : 63 à 75% et 65 à 95% pour les différentes cultures utilisées. Dans une autre étude, **Fountoulakis et al**, ont trouvé que le prétraitement aérobie par **Pleurotus Ostreatus** est capable d'améliorer les performances de la digestion anaérobie qui le suit [23].

Traitement anaérobie

La fermentation anaérobie des margines a pour but la production du méthane. Cependant, les bactéries méthanogènes sont sensibles aux composés phénoliques existants dans les margines. Donc un prétraitement aérobie pour réduire le taux de ces composés aromatiques semble nécessaire. Le prétraitement des margines par *Aspergillus Niger* a réduit sa toxicité ; d'ailleurs la production de méthane était deux fois supérieure à celle des margines non traitée. Dans le même but, des expériences ont montré que l'utilisation de *Chrysosporium Phanerochaete* pour la décoloration des margines avant le traitement anaérobie diminue le taux de DCO de 105 à 85 g/l. Sayadi et al, ont montré que *P. Chrysosporium* est un meilleur dégradeur des margines. *P. Chrysosporium* attaque les composés phénoliques de haut poids moléculaire, inhibiteur de la lignine peroxydase (Lip), l'enzyme clé dans la décoloration et la diminution de la DCO des margines. Tandis que la culture de *P. Chrysosporium* était complètement inhibée dans les margines non diluées. Ergüder et al, ont montré que le traitement d'un litre de margine permet de produire 57,1 litres de méthane [23].

➤ Procédés d'oxydation avancée

Les procédés d'oxydation avancée (POA) ont été définis en 1987 par Glaze comme des procédés de traitement des eaux à des températures et pression ambiantes dont lesquels les composés organiques thermodynamiquement instables sont éliminés (M.Pera-Titus, V.Garacia-Molina, 2004). Ces procédés sont efficaces pour atteindre un haut degré d'oxydation en faisant appel à ces intermédiaires radicalaires, particulièrement les radicaux hydroxyles HO^{\bullet} [23].

L'ozonation

L'ozone est certes un oxydant puissant, mais il n'est pas capable d'oxyder complètement la charge organique des margines. Andreozzi et al, ont montré que les taux de réduction de la DCO durant l'ozonation, même dans les conditions les plus favorables, ne dépassent pas 20 à 30%. Néanmoins, l'ozonation peut être utilisée comme un prétraitement. Dans une étude comparative, Canizares et al, ont trouvé que l'ozonation des margines à pH alcalin n'a pas permis d'atteindre une minéralisation complète de la charge organique. Une concentration résiduelle de l'ordre de 30% en carbone organique demeure à la fin du processus. Benitez et al, ont montré que ce procédé peut être amélioré par l'utilisation des radiations UV permettant une réduction de la DCO de 5 à 10% et l'élimination des phénols totaux à 97.5% [23].

Procédés Fenton

C'est un procédé convenable au traitement des effluents quel que soit la nature des contaminants. C'est un système économique, caractérisé par sa simplicité et la possibilité d'utiliser des réacteurs agités. En utilisant ce procédé pour traiter les margines, Rivas et al, ont montré que, pour un excès de peroxyde d'hydrogène, le maximum de réduction de la DCO et du carbone total après 24h, était respectivement, de 70 et 55%. Dans un autre travail, Canizares et al, en traitant des margines brutes, ont mis en évidence que pour une concentration donnée en fer(II), l'élimination de la DCO et de COT croît avec l'augmentation de la concentration de H₂O₂. Le meilleur taux d'élimination de la DCO est de 70% pour une concentration en H₂O₂ supérieure à 25 Kg/m³. Toujours dans le même cadre, le traitement combiné **Fenton-Electrochimique** avec (électrode en diamant) a permis une minéralisation complète de la charge organique [23].

➤ PROCÉDES COMBINÉS

UF/UV/H₂O₂

La combinaison du processus d'ultrafiltration et d'oxydation avancée a été étudiée par **Drouiche et al., (2004)**. Cette méthode a permis d'atteindre une décoloration complète des margines. Elle est plus efficace que le traitement biologique qui est lent (**Tsioulpas et al., 2002**), ou l'oxydation par H₂O₂ seul qui produit seulement 50 % de décoloration (**Drouiche et al., 2004**).

Combinaison d'oxydation avancée et traitement biologique

Le couplage du processus d'oxydation avancée (OA) et le traitement biologique (TB) est faisable pour l'épuration des margines. Le principe est basé sur l'utilisation de l'oxydation avancée en premier stade pour convertir les polluants en intermédiaires qui seront biodégradables par traitement biologique. Dans certains cas, l'oxydation avancée a un effet inverse, en provoquant la formation des substances plus toxiques que celles existantes dans les margines brutes. Dans ce cas, on peut faire le couplage inverse : TB/OA ou TB/OA/TB. **Mantzavinos et Kalogerakis., (2005)** ont comparé l'efficacité du traitement par couplage : O₃/T.B aérobie, T.B aérobie/O₃, O₃ seul et T.B aérobie seul. Ils ont constaté que les meilleurs abattements de la DCO ont été obtenus pour les procédés couplés.

Khoufi et al., (2006) ont étudié la faisabilité du procédé combiné Electro-Fenton comme une étape de prétraitement suivie d'un traitement biologique anaérobie. Cette combinaison a permis d'éliminer, respectivement 66,8 et 66,9 % de polyphénols totaux et de DCO. Le rapport DCO/DBO₅ a été diminué de 5,84 à 2,26 [23].

Combinaison de la coagulation et l'oxydation avancée

Une étude du procédé combiné coagulation/oxydation avancée a été faite par **Kestioglu et al., (2005)** pour le traitement des margines. Cette étude comprend [23]

- L'acidification des margines jusqu'à pH = 2, permettant de réduire 38% de la DCO et 23% de phénols totaux PT.
- Une coagulation à l'aide des sels de fer ou d'aluminium. Les deux coagulants ont donné presque les mêmes résultats : 94-95% de DCO, 90-91% de PT et 99% de solides en suspension.
- L'effluent résultant a été dilué avec différents rapports. Les dilutions ont été traités par adsorption sur charbon actif granulé. A la fin de cette étape, la DCO a été diminuée d'une façon importante après 24 h.
- l'oxydation avancée par les procédés UV/O₃ et UV/H₂O₂. Les deux procédés donnent presque le même taux d'élimination de la DCO et PT (99%).

Electrocoagulation combinée à la bio méthanisation

Le couplage de ces procédés présente une solution adaptée à l'épuration des margines. La bio méthanisation permet de transformer la matière organique en substances chimiques diverses en conditions d'anaérobiose. Le prétraitement par électrocoagulation sert à séparer les margines en boues et en liquide biodégradable, et éliminer les polyphénols et certains autres produits toxiques (Benyahia et Zein., 2003).

Procédé couplant la coagulation floculation et la voie électrochimique

Le but de cette étude est le traitement des margines par la combinaison de deux procédés physicochimiques : la coagulation floculation comme prétraitement et un traitement par voie électrochimique (électrolyse) comme procédé d'affinage [25].

Le taux d'abattement obtenu est 66% pour la DCO .

Tableau 6 résultats de combinaison de procédés coagulation-floculation/ électrolyse [25].

Paramètres	Avant traitement	Après coagulation floculation	Après traitement électrochimique
pH	6,7	4,55	3,78
Conductivité (mS/cm)	1,24	1,78	7,26
MES (g/l)	10,5	4,4	0
Absorbance (490 nm)	1,191	0.688	0,094
O ₂ dissout (mg/L)	4 ,39	5.21	7,16
Polyphénols (g/L)	0,89	0,69	0 ,32
Turbidité (NTU)	167	19,2	11,3
DCO (g O ₂ /L)	27,16	13,03	9,11
Chlorure (mg/L)	131	-	25,4

2 - 3 Traitement des effluents de laitière

Le lactosérum peut être considéré comme une source d'énergie plutôt qu'une source de pollution, surtout si un traitement approprié lui y été assuré. Les méthodes de traitement de lactosérum existant jusqu'à présent sont limitées. La digestion anaérobie peut être envisagée comme la méthode la plus favorable pour réduire la charge organique polluante de ce type d'effluent. En effet, cette technique constitue une alternative pour valoriser ces déchets, par la production d'un biogaz (méthane) qui peut être utilisé selon ces besoins. Cela présente des gains intéressants en termes économie d'énergie [26].

Les traitements à boues activés généralement appliqués aux effluents laitiers (lactosérum inclus ou non), génèrent de grande quantité de boue biologique qu'il faut valoriser vus leur richesse en MO moyennement biodégradable (présente étude). D'autre techniques spécialement conçu pour la valorisation de Lactosérum, en source de nutriment et valeur additif (lactose, protéines, éthanol,...etc.) via plusieurs méthodes sont utilisées. Ces méthodes sont très couteuses et demandent un grand investissement. Toutefois, la digestion anaérobie est considérée comme la méthode la plus favorable pour réduire la charge polluante de ce type d'effluent et d'autres type de déchets de 70 à 80% , ainsi que leur charge microbienne, en plus de la production d'un biogaz constitué en major partie du méthane .La digestion anaérobie (méthanisation) des déchets organiques laitiers peut avoir un potentiel en biogaz de 330 L/Kg de DCO, avec une composition en méthane entre 60 à 70% [26].

➤ Procédés physiques / physique-chimique

coagulation-décantation

Hamdani Ahmed et al [27], ont montré que le traitement de cet effluent par coagulation-décantation à l'aide du chlorure ferrique, du sulfate d'aluminium et de la chaux, quoique insuffisant vis-à-vis de l'élimination de la pollution organique et azotée, dont le taux d'abattement optimal ne dépasse guère 40 % , a permis de réduire considérablement la matière en suspension (94 %) et le phosphore total (89 %) par la chaux et par conséquent de respecter les normes en vigueur pour ces deux paramètres. Dans le but de suggérer un traitement qui soit plus efficace, la coagulation-décantation peut servir comme une étape de prétraitement. Il serait donc nécessaire de procéder à un traitement biologique

complémentaire qui permettrait de réduire la charge polluante au maximum et de respecter les valeurs fixées par la norme.

L'étude comparative de prétraitement des effluents d'une laiterie industrielle par coagulation chimique ou électrocoagulation en dynamique a montré la possibilité d'employer l'une ou l'autre méthode avec satisfaction. Des taux de réduction de la turbidité de l'ordre de 99 % sont obtenus pour une concentration ou consommation optimale de coagulant (Al^{3+}) et un taux d'abattement en DCO > 90% pour les deux [28].

➤ **Processus membranaire**

Osmose inverse

Le traitement des eaux rejetées des procédés par osmose inverse (OI) permet simultanément de concentrer la matière laitière pour valorisation, de réduire la charge polluante rejetée et de produire une eau épurée réutilisable sur le site de production. La qualité de l'eau produite devra être similaire à celle des condensats d'évaporation, issus des ateliers de concentration-séchage, voire de qualité équivalente à celle de l'eau potable afin d'accroître les possibilités de réutilisations [29]

Les expériences sont effectuées sur un pilote de filtration tangentielle équipé d'un module spirale d'osmose inverse. L'osmose inverse permet de récupérer environ 90 % du volume traité

Une cascade OI+OI permet d'atteindre une eau quasiment déminéralisée ($2-3 \mu S.cm^{-1}$) dont la teneur en COT ($< 2 mg.L^{-1}$) est conforme à la norme de l'eau potable.

➤ **Processus biologique**

Traitement aérobie

Traitement biologique séquentiel

YAHY Hamid et al [30], ont montré que l'utilisation du réacteur discontinu (SBR) est adaptée pour l'élimination de la forte pollution par le carbone, facilement biodégradable, des effluents des produits laitiers. En effet, avec 48 heures de temps d'aération, 2 heures de décantation et un démarreur maintenu entre 20 et 40% du volume utile, le SBR peut donner jusqu'à 98% d'efficacité. Le temps de décantation, réglé à 2 heures, limite la décantation des boues et ne supprime pas plus de $1,2 kg DBO_5 / m^3 / j$, soit environ $2 kg DCO / m^3 / j$.

Si les dépenses liées à l'installation du SBR sont plus avantageuses, cependant les coûts de fonctionnement sont défavorables (consommation d'énergie élevée).

Dans le cadre du traitement d'effluents laitiers et plus généralement des effluents issus de l'industrie agroalimentaire, la comparaison des différents procédés biologiques utilisables, a montré que le SBR est le plus performant.

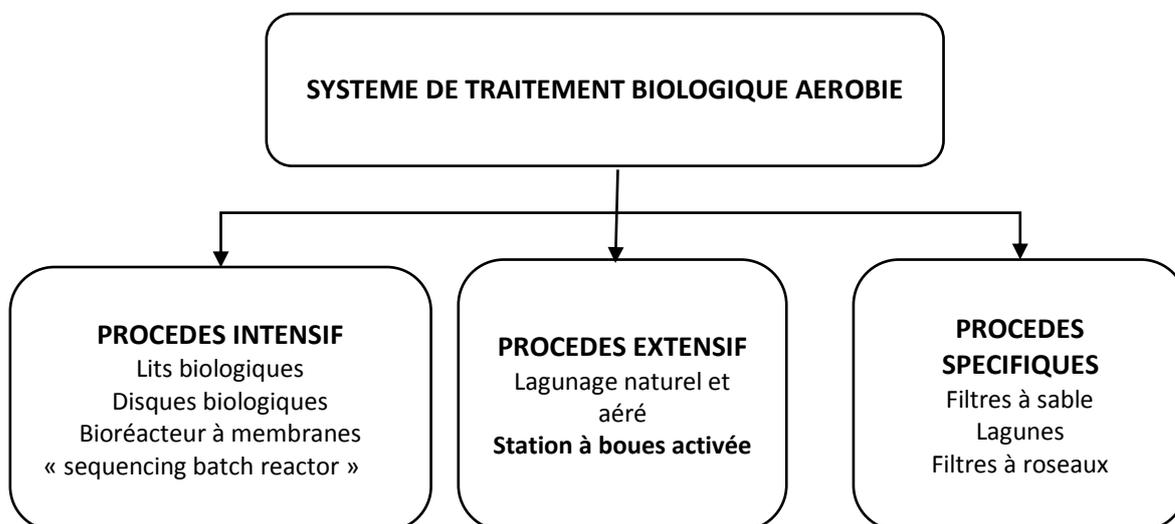


Figure 3 Différents traitements aérobie des effluents laitiers [45]

L'étude comparative de traitement des effluents d'une laiterie industrielle par ces différents systèmes a donné :

Tableau 7 Performances épuratoires des différents procédés de traitement

	DCO	DBO5	N-NK	P-Pt
Lit bactérien	60%	60%	50%	-
Filtre à sable	98%	98%	90%	70%
bio filtre	65%	-	-	-
Lagunage	80 à 90%	80 à 90%	60%	50%
FPR	>90%	>90%	60 à 90%	50%
SBR	99%	99%	94%	87%
BRM	96%	97%	-	-

2 - 4 Traitement des rejets de l'industrie sucrière

➤ Procédés physiques

Le lavage de la mélasse de canne à sucre après traitement biologique à la fois par la méthode anaérobie et aérobie peut encore avoir une DBO de 250 500mg/l. De plus, même si le

traitement biologique entraîne une importante élimination de la DCO, l'effluent conserve encore la couleur foncée. Dans ce contexte, diverses options de traitement physico-chimique ont été explorées

Techniques membranaires

Electrodialyse

L'électrodialyse a été explorée pour le dessalement de l'eau usée à l'aide de membranes d'échange d'anions et de cations, ce qui a entraîné une réduction de 50 à 60% de la teneur en potassium (de Wilde, 1987). Dans une autre étude, Vlyssides et al. (1997) ont signalé le traitement de la vinasse à partir de la mélasse de betterave par électrodialyse en utilisant une cathode en acier inoxydable, une anode en alliage de titane et NaCl à 4% p/v en tant qu'agent électrolytique. Jusqu'à 88% de réduction de la DCO à pH 9,5 a été obtenue ; Cependant, le pourcentage d'élimination de DCO a diminué pour un taux d'alimentation en eaux usées plus élevé.

➤ **Procédés chimiques**

Traitement électrochimique

Asaithambi, P et al [32] Le procédé d'oxydation électrochimique a été utilisé pour traiter l'effluent de l'industrie du sucre synthétique en utilisant les deux réacteurs discontinus avec et sans recirculation. Ce que donne un taux d'abattement de COD 83,94% pour le réacteur avec recirculation, alors qu'aucune recirculation ne donne plus que 80,74%. Par conséquent, on peut conclure qu'un réacteur discontinu avec recirculation est la meilleure option par rapport à un réacteur discontinu sans recirculation.

Adsorption

D'après M. SUNITHA [33] différents adsorbants comme le charbon activé, la bentonite, le lignite, les cendres volantes peuvent être utilisées pour l'adsorption des eaux usées de l'industrie sucrière. L'utilisation des adsorbants ci-dessus aide à éliminer à 80% le TDS, le TSS et l'huile et la graisse, et en abaissant la DCO, la couleur et l'odeur de la DBO.

D'après Tewari Namita et al [34], le charbon activé a été observé comme le meilleur adsorbant que les cendres volantes et les cendres de bois pour éliminer les polluants des eaux usées de la distillerie.

➤ **Procédés biologiques**

Traitement anaérobie

UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

A.S.Tanksali [35] a démontré que par UASB c'est possible de traiter efficacement les eaux usées de l'industrie sucrière avec une efficacité d'élimination de DCO de 96%. 15 l/j de biogaz a été généré avec 71% de teneur en méthane dans des conditions optimisé de température de 28 à 29 ° C .

FCMR et ASBR : étude comparative

Dans une étude réalisée par Emrah Alkaya et Göksel N. Demirer, les déchets de traitement de la betterave à sucre ont été soumis à une dégradation microbienne anaérobie dans deux configurations de réacteurs : FCMR (batch-Fed Continuously Mixed anaerobic Reactor) et ASBR (Anaerobic Sequencing Batch Reactor). Les résultats des expériences ont été analysés et rapportés d'une manière comparative pour les deux configurations du réacteur. Bien que la valeur de temps de rétention hydraulique de la configuration ASBR ait été inférieure (8 jours) à celle de la FCMR (15 jours), l'ASBR a obtenu un rendement spécifique plus élevé en méthane que le FCMR. En outre, l'élimination de la TCOD (Total Chemical Oxygen Demand) était plus élevée dans l'ASBR (79,7 %) que dans le FCMR (68,7 %). La DCO facilement dégradable a été convertie en méthane relativement rapidement, en environ 8 heures dans l'ASBR et très probablement dans le FCMR également. Les résultats expérimentaux indiquent que le système ASBR est une configuration de réacteur viable pour la digestion anaérobie de la pulpe de betterave [36].

Procédés d'oxydation avancée

L'ozonation

L'oxydation par l'ozone pourrait atteindre 80% de décoloration pour le lavage usé biologiquement traité avec une réduction simultanée de 15 à 25% de la DCO. Cela a également entraîné une biodégradabilité améliorée de l'effluent. Cependant, l'ozone ne transforme que les groupes chromophores mais ne dégrade pas les composés polymères de couleur sombre dans l'effluent

L'ozonation a été effectuée sur les effluents FSBAR pour les décolorer. On a constaté que le pH avait un effet négligeable sur la décoloration. L'ozonisation a été effectuée à différentes doses d'ozone. On a trouvé que 4,75 g / L était une dose optimale à un taux d'ozone appliqué de 3,8 g / h pendant 30 min. La décoloration de 66% a été obtenue à cette dose. La décoloration totale obtenue par le traitement combiné (traitement PAC, FSBAR et Ozonation) était de 96% et l'élimination totale de la DCO était de 81%. Cela montre que l'ozonation peut être utilisée efficacement comme traitement tertiaire après décoloration fongique de la distillerie digérée [32].

PROCEDES COMBINES

Traitement des rejets sucriers du cuivre métal et sel : oxydation chimique et électro-oxydation

Le traitement des eaux usées de l'industrie sucrière avec électrocoagulation et coagulation réalisé par ANURAG et al [36] montre qu'il est possible de réduire 81% de DCO et 83,5% de réduction de couleur à pH 6, distance d'électrode de 20 mm et densité de courant 178 A m⁻² et 120 min de temps de traitement. L'addition de coagulant CuSO₄ a montré 98% de DCO et 99,5% d'élimination des couleurs à 8 mM de chargement et le PAC (Chlorure de polyaluminium) a montré 97,5% de DCO et 99,1% d'élimination des couleurs à 10 mM de chargement avec des eaux usées traitées par électrocoagulation

La coagulation et la floculation : combiné a traitement biologique

Les études de coagulation après traitement anaérobie-aérobie ont également été menées à l'aide d'une poudre de blanchiment suivie d'un sulfate d'aluminium. La dose optimale était de 5 g / l de poudre de blanchiment suivie de 3 g / l de sulfate d'aluminium qui a entraîné

une élimination de la couleur de 96%, accompagnée d'une réduction de 97% de DBO et de DCO

2 - 5 Traitement des rejets des abattoirs :

➤ Procédés physiques

Flottation d'air dissous FAD

Les systèmes DAF se réfèrent à la méthode de séparation eau-solides par l'introduction de l'air dans l'effluent d'abattoir de bas vers le haut. L'efficacité de ce système peut être améliorée en ajoutant des polymères et d'autres flocculant pour l'ajustement du pH et la floculation des particules. Les coagulants sanguins tels que le chlorure ferrique et le sulfate d'aluminium peuvent également être ajoutés aux rejets pour favoriser l'agrégation et les précipitations des protéines en plus de la flottation de graisse. L'efficacité des procédés de DAF pour l'élimination de la DCO et de la DBO est habituellement de 30 à 90% et de 70 à 80%, respectivement. Systèmes DAF sont également capables de produire des nutriments modérés à riches (Johns, 1995; Mittal, 2006; Al-Mutairi et al., 2008; De Nardi et al., 2011). À l'inverse, les inconvénients de DAF sont liés à un dysfonctionnement régulier et à une mauvaise séparation de TSS (Kiepper, 2001) [38].

Techniques membranaires

La technologie des membranes devient une alternative au traitement des rejets d'abattoirs. Les processus d'osmose inverse (OI), de nanofiltration (NF), d'ultrafiltration (UF) et de microfiltration (MF) permettent d'éliminer les particules, les colloïdes et les macromolécules en fonction de la taille des pores. Les processus membranaires sont de plus en plus utilisés pour éliminer les bactéries, les microorganismes, les particules et la matière organique dans le traitement des rejets d'abattoirs (Almandoz et al., 2015).

- Bohdziewicz et Sroka (2005) ont étudié la performance du processus OI pour le traitement des rejets d'abattoirs comme traitement secondaire après un prétraitement à l'aide de boues activées. Les résultats ont montré une efficacité d'élimination de 85,8; 50,0; 97,5 et 90,0%, après un traitement antirétroviral, pour la DCO, la DBO, le TP et TN, respectivement. Par conséquent, on peut conclure que l'OI est une technologie viable pour le post-traitement des rejets d'abattoirs

- Yordanov (2010), a étudié la faisabilité d'utiliser UF pour le traitement des rejets d'abattoirs. Les résultats ont montré que l'UF pourrait être une méthode de purification efficace en réalisant 98 et 99% d'élimination des TSS et des graisses, respectivement. Avec un taux d'abattement de 97.80 à 97.89 et 94.52 à 94.74% de DBO et de COD, respectivement.
- Gürel and Büyükgüngör (2011) ont étudié la performance des bioréacteurs à membrane (MBR) d'ultrafiltration pour les nutriments et l'élimination organique des rejets d'abattoirs. Jusqu'à 44, 65, 96 et 97% des absorptions ont été obtenues pour TN, TP, TOC et COD, respectivement. Le seul inconvénient est la nécessité dénitrification comme un traitement final.

Almandoz et al. (2015), ont évalué l'efficacité d'une membrane composite céramique de microfiltration (CM). Les résultats montrent un rejet de résidu total insoluble de 100%, une élimination bactérienne élevée (87 à 99%), ainsi que TOC, TN et taux d'élimination de 44,81, 45,22 et 90,63%, respectivement. Ainsi, en rendant le CM microfiltration est le traitement le plus adapté pour les rejets d'abattoirs

Bien que l'élimination organique élevée puisse être obtenue par processus membranaires, les suppressions de nutriments restent nécessaires pour que ce processus soit couplé à un autre procédé conventionnel (Gürel et Büyükgüng). En outre, les processus membranaires peuvent faire face à des problèmes majeurs d'encrassement lors du traitement de courants d'alimentation hautement concentrés tels que le SWW, qui est difficile à éliminer et peut restreindre considérablement le taux de perméabilité à travers les membranes en raison de la formation de couches épaisses de biofouling sur les surfaces membranaires (He et Al., 2005; Selmane et al., 2008).

Tableau 8 l'efficacité des procédés membranaire

Type de la membrane	Taux d'élimination de COT(%)	Taux d'élimination de DCO(%)	Taux d'élimination de DBO(%)	Taux d'élimination de azote totale (%)
Microfiltration (MF)	44.81	90.63		45.22
Ultrafiltration (UF)		94.52 à 94.74	97.80 à 97.89	
Osiose Inverse (OI)		85.80	50.00	90.00

➤ Procédés chimiques

Coagulation-floculation

Le processus de coagulation / floculation a été utilisé à l'échelle du laboratoire pour éliminer la demande chimique en oxygène (DCO), les solides en suspension totale (TSS) et le phosphore total (TP) dans les eaux usées des abattoirs. Les eaux usées ont été autorisées à s'établir pendant 24 h et des rendements de dépistage de TSS et de TP de 65% et 32% ont été atteints, respectivement. L'alumine, le chlorure ferrique et le sulfate ferrique ont été utilisés pendant le processus de coagulation / floculation. L'alumine s'est révélée plus efficace dans la réduction des TSS et TP présents dans les eaux usées, alors que le sulfate ferrique était plus efficace dans la réduction de la DCO. L'augmentation de la dose d'alumine à 750 mg/l a entraîné une efficacité d'élimination de TP pour atteindre 45%. Le taux d'élimination de TP a augmenté linéairement avec des doses croissantes d'alumine, ce qui entraîne une efficacité d'élimination de TP de 98% à 1000 mg/l d'alumine. L'addition d'un polyélectrolyte à un coagulant inorganique s'est révélée efficace dans la réduction de la DCO, du TSS et du TP, réduisant la quantité de coagulant utilisée et réduisant le coût du processus de coagulation / floculation. Un degré significatif d'élimination des particules par taille a été produit en utilisant de l'alun ; Cela s'est encore amélioré avec l'addition du polyélectrolyte [39].

KHENNOUSSI et al [40] ont réalisé un traitement par coagulation floculation au chlorure ferrique des rejets de l'abattoir municipal de la ville de Meknès qui sont polluées par une abondance de germes pathogènes, une DCO et une DBO5 élevées, permettrait une diminution de 98 % des ortho-phosphates, de 90 % des sulfates, de plus de 80 % de la DBO5 et de la DCO, et l'élimination de plus de 50 % des coliformes.

Le traitement de rejet d'abattoir avec de sulfate d'aluminium, le chlorure ferrique, le sulfate ferrique et le chlorhydrate d'aluminium comme coagulants, permet d'éliminer jusqu'à 99,9, 88,8 et 75,0%, de TP, TN et COD respectivement, en utilisant le chlorure de polyaluminium comme réactif. De plus, si l'on utilise des agents de coagulant inorganiques, le volume des boues peut être réduit de 41,6%.

TARIQ, M et al [41] ont utilisé de la citron et de l'alumine individuellement et en combinaison comme coagulants pour le traitement des rejets d'abattoirs. Les résultats montrent qu'on augmentant la dose d'alumine, l'élimination de la DCO augmente à un maximum de 92% avec augmentation de volume des boues, ce qui rend le processus impossible. À l'inverse, une augmentation du dosage de la lime a augmenté la réduction de la DCO à un maximum de 74%, alors que la décantation des boues était élevée et le volume des boues a diminué par rapport à celui de l'alumine. À la fin, les doses combinées de citron et d'alun donnent une élimination maximale de 85% en DCO à faible volume de boue.

Electrocoagulation

La recherche effectuée par ASSELIN MELANIE [42] a permis de démontrer l'efficacité de l'électrocoagulation utilisant des électrodes de fer en configuration bipolaire ou des électrodes en aluminium en configurations mono polaires suivie de la floculation et de la décantation de la suspension, dans le traitement des effluents d'abattoir. Ce traitement a permis d'obtenir des taux moyen d'élimination de la DCO variant entre 80% à 88%, et de DBO5 variant entre 83% à 86% et plus de 98% des huiles et graisses sont également obtenus, rendement moyen d'élimination de la turbidité allant jusqu'à 99% ce qui donne des valeurs conformes aux normes sans aucun ajustement.

Ces résultats sont presque similaires aux résultats obtenus dans le traitement de ces rejets par coagulation chimique (Al_2SO_4 et $FeCl_3$) qui donne un taux d'abattement allant de 53 à 61% de DCO5 et 82% à 85% de la DCO. En revanche les couts de la coagulation chimique semblent supérieurs à ceux de l'application de l'électrocoagulation.

Les résultats de l'étude de Abdelaziz Khennoussi et al [43] ont montré que les échantillons traités par électrocoagulation soit avec des électrodes de fer ou d'aluminium sous une tension variant entre 10 et 15 volts, et 0,5g/l de NaCl, donne un effluent traité caractérisé par un pH qui varie entre 7,2 et 7,8, un abattement des bactéries de 100% (désinfection total), la conductivité de l'effluent après traitement ne dépassant pas 1ms/cm. Ces conditions réalisent l'optimum de traitement par électrocoagulation par le fer et l'aluminium, ce qui fait penser que ce procédé parait plus adapté que la coagulation chimique, en raison de ses potentialités bactéricides permettant de vaincre le risque microbiologique des effluents d'abattoir, qui sont considérés vecteur de germes pathogènes menaçant l'environnement et la santé publique.

Le traitement de ces effluents par coagulation floculation chimique au chlorure ferrique dans ses conditions optimales ne peut éliminer que 50 % des coliformes

Le processus de l'électrocoagulation a récemment été utilisé pour le traitement des eaux usées d'abattoirs comme une technologie de traitement des eaux usées évolutive rentable. L'électrocoagulation chimique a été confirmée comme une technologie efficace pour la suppression des matières organiques, des nutriments, des métaux lourds et même des agents pathogènes des rejets d'abattoirs en introduisant un courant électrique sans addition de produits chimiques [38].

Koby et al cité par Fernando Ciro et al [38], ont démontré que 93% de la DCO a été éliminée en utilisant l'aluminium (Al) comme matériau d'électrode, alors que l'efficacité maximale de l'huile a été obtenue en utilisant le Fer (Fe) comme matériau d'électrode, atteignant 98% d'élimination.

Les résultats de Likewise, Asselin et al. (2008) montrent que l'utilisation d'électrodes bipolaires en acier doux permet d'éliminer la DCO, la DBO, le TSS, la turbidité et l'huile jusqu'à 84, 87, 93, 94 et 99% respectivement.

➤ Procédés biologiques

Le traitement biologique est habituellement appliqué comme traitement secondaire, où la digestion aérobie et anaérobie est utilisée en tant que processus individuels ou combinés selon les caractéristiques du rejets d'abattoirs traité (Martínez et al., 1995). Ces traitements peuvent atteindre un taux d'abattement en DBO qui dépasse les 90 % (Mittal, 2006).

Traitements aérobies

Processus de boues activées

Fongsatitkul et al. (2011) a examiné la performance de Système de boues activées pour traiter les rejets d'abattoirs. Deux comprièmes à flux continu de 10 L fonctionnant en parallèle avec le recyclage interne (IR) ont été utilisés. L'efficacité d'élimination de la DCO a atteint 97,60%, le taux d'élimination totale de l'azote Kjeldahl (TKN) variait de 81,50 à 95,60%, et l'élimination du TP a atteint son maximum de 85 à 89%

Réacteur séquentiel biologique aérobie

Lemaire et al. (2008, 2009) ont évalué la performance des SBR sous 6 h de cycles pour le traitement des rejets d'abattoirs. Des gains d'efficacité élevés pour l'élimination de la DCO, du TP et de TN de 95, 98 et 97% ont été atteints, respectivement.

Traitement anaérobie

Filtre anaérobie

La performance des filtres anaérobies ascendants (UAF) a été examinée dans des conditions thermophiles et mésophiles pour un traitement des eaux usées d'abattoirs (Gannoun et al., 2009, 2013). Les résultats ont montré que des efficacités d'élimination de la DCO allant jusqu'à 90% peuvent être obtenues pour les taux de chargement organiques de 9 000 mg / L de jour dans des conditions mésophiles et de 72% dans des conditions thermophiles.

Lagune anaérobie

Les efficacités des lagunes anaérobies pour éliminer la DBO, la DCO et les TSS ont été rapportées respectivement à 97, 96 et 95% (US EPA, 2004; Mittal, 2006; McCabe et al., 2014).

Réacteur séquentiel anaérobie

Caldera et al. (2005) ont évalué la performance d'un UASB¹, réacteur de 4 L dans des conditions mésophiles pour le traitement des rejets d'abattoirs. Les expériences ont été menées pendant 90 jours. Les résultats ont démontré une efficacité adéquate du réacteur UASB pour traiter ces effluents jusqu'à 94,31% pour l'élimination de la DCO.

¹ Upflow Anaerobic Sludge Blanket

Traitement par réacteur biologique séquentiel anaérobie (ASBR)

L'étude Myra Tansengco et al [37] visait à déterminer la faisabilité de l'utilisation d'un réacteur discontinu anaérobie (ASBR) pour le traitement des eaux usées de traitement de la viande et pour la production de biogaz. Un ASBR à l'échelle de laboratoire a été conçu et fabriqué avec un volume actif de 10 litres (L) composé de 60% d'eaux usées et d'un inoculum de boues à 40%. Le post-traitement des effluents a été effectué en utilisant du charbon actif granulé. Au cours du processus de bio méthanisation dans ASBR, l'élimination des polluants a été: 94% de la demande chimique en oxygène (DCO), 93% de la demande biochimique en oxygène (DBO), 54% de solides en suspension, 58% de turbidité et 53% de couleur. La concentration de DCO et de DBO dans les effluents traités était respectivement de 116 mg / L et 78 mg / L. Le biogaz généré pendant la réaction ASBR était de 2,7 L / jour avec 61% de teneur en méthane. Le post-traitement des effluents a encore réduit les concentrations de polluants à un niveau acceptable avec 76 mg / L de DCO et 20 mg / L de DBO. Le traitement biologique utilisant ASBR et le post-traitement avec du charbon actif s'est avéré efficace pour réduire les polluants organiques dans les eaux usées de traitement de la viande.

➤ Procédés d'oxydation avancée

Les AOP deviennent une alternative intéressante au traitement conventionnel et une option de traitement complémentaire, soit en prétraitement, soit après traitement, aux processus biologiques actuels.

En outre, les AOP peuvent inactiver les microorganismes sans addition de produits chimiques supplémentaires au rejet par rapport à d'autres techniques telles que la chloration couramment utilisée dans la désinfection de l'eau, évitant ainsi la formation éventuelle de sous-produits dangereux (De Sena et al., 2009; Bustillo -Lecompte et al., 2015).

Ozonation

L'ozonisation a également été utilisée par Wu et Doan (2005) pour le traitement des rejets abattoirs. Les résultats montrent que l'ozone a été efficace dans la désinfection de rejets abattoirs après 8 min en utilisant un dosage d'ozone allant jusqu'à 23,09 mg / min par L. Jusqu'à 99% des microorganismes ont été inactivés. Néanmoins, le retrait de la DCO et de la DBO était seulement de 10,70 et de 23,60%, respectivement.

Le procédé UV / H₂O₂

Est l'un des AOP les plus utilisés. Le processus UV / H₂O₂ s'est révélé efficace pour le traitement des rejets abattoirs. Luiz et al. (2009) a évalué le processus UV / H₂O₂ pour le traitement d'un effluent secondaire d'abattoirs. Les résultats montrent que jusqu'à 95% de l'efficacité de suppression de DCO a été atteinte après 5 h de traitement

➤ Procèdes combinées

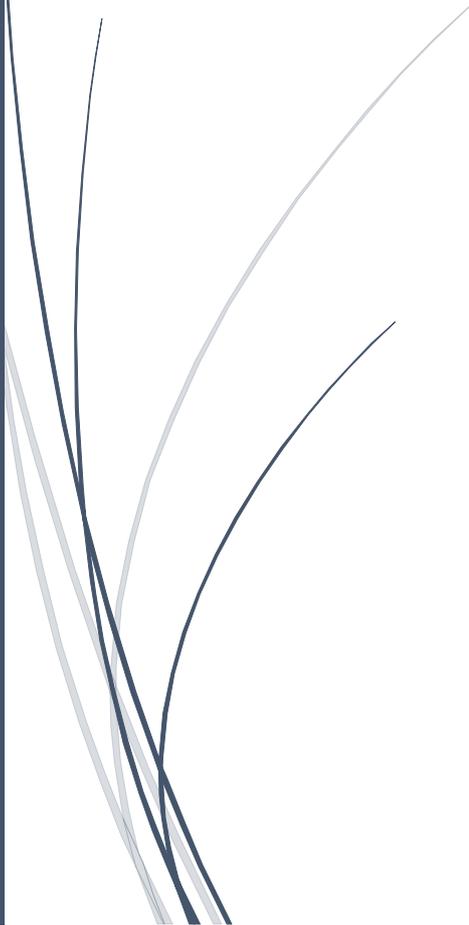
Bohdziewicz et Sroka (2005) ont considéré le **procédé boue activé-Osmose Inverse** combiné comme procédé de traitement des rejets abattoirs. Les rejets abattoirs bruts ont d'abord été prétraités à l'aide de boues activées. Les résultats ont montré une forte élimination des contaminants des rejets par les processus combinés, y compris la DCO (99,80%), la DBO (99,83%), le TP (99,76%) et le TN (99,77%). Un processus combiné de **coagulation / adsorption** a été évalué par Mahtab et al. (2009) pour les effluents d'abattoirs utilisant divers coagulants, tels que l'alun, le sulfate ferreux, le chlorure ferrique et le citron vert. Les résultats montrent que des efficacités optimales de suppression de DCO allant jusqu'à 92% sont obtenues en utilisant de l'alun comme coagulant. Néanmoins, il a été conclu que le processus combiné de coagulation / adsorption ne constituait pas une amélioration significative de l'élimination de la DCO des rejets abattoirs. Bazrafshan et al. (2012) ont évalué la performance de la coagulation chimique (CC) combinée à l'électrocoagulation (EC) pour le traitement des rejets d'abattoirs. Les taux d'élimination de la DBO et de la DCO ont été directement proportionnels à la tension appliquée et à la dose de coagulant avec 99% d'efficacité d'élimination pour les deux paramètres. En conséquence, les processus CC et EC combinés ont été jugés plus efficaces que CE pour le traitement des rejets d'abattoirs.



ENP 2017

Chapitre 3

Etude comparative



3 Etude comparative des méthodes de traitement des rejets de l'industrie agroalimentaire

3 - 1 L'industrie d'huile (cas des margines)

Procédés		Nature	Rendement	Avantages	Inconvénient s	Références
*Physique	Thermique	Distillation	92%	Réutilisation du distillat dans l'irrigation.	Acidité élevée du distillat nécessitant une neutralisation par la chaux	[21]
		Evaporation	Faible	Le non rejet des margines dans les égouts et dans les rivières	Dépendance aux conditions climatiques Nécessité de grandes superficies (1m ² /m ³ de marge) Long temps de séjours (période oléicole durant l'hiver, ou le bilan d'évaporation est presque nulle) Evaporation insuffisante : formation d'une couche huileuse en surface qui empêche l'action des rayons solaires	[21] [49]
		Incinération forcée	Rendement important	Séparation des deux phases afin d'évaporer la phase aqueuse des margines et de brûler ensuite les matières organiques Grande efficacité	Procédé complexe et couteux tant à l'investissement qu'à l'exploitation Moins appropriée lorsque les margines sont composées à plus de 80% d'eau	[49]

	Membranaire	Ultrafiltration	Prétraitement	94%	Elimination des composées phénoliques	Nécessité d'un prétraitement Demande énergétique élevée Altération rapide des membranes utilisées Renouvellement permanent des membranes	[22]
		Adsorption		Charbon actif			34%
	Bentonite (argiles activées)		71%	Difficulté de réalisation à grande échelle			
Chimique	Coagulation	sulfates d'aluminium	Affinage	43%	Un procédé moins couteux par rapport aux autres	Formation facile de boues gênantes	[24]
		Chaux		38%			[15]

		Electrocoagulation		93% (Ti-Pt)	<p>La biodégradabilité des effluents traités est améliorée suite à la faible salinité du milieu</p> <p>L'ajout de substances chimiques n'est pas nécessaire</p> <p>Elimination totale des bactéries et virus Réduction du temps de traitement.</p> <p>Possibilité d'automatisation</p>	<p>Consommation et coût des électrodes</p> <p>Perte de temps dû à l'arrêt du procédé pour maintenance</p> <p>Faible conductivité de l'eau</p> <p>Formation des dépôts sur les électrodes</p>	[50]
Biologique	aérobie		Prétraitement	63 à 75%	<p>Capable d'améliorer les performances de la digestion anaérobie</p> <p>Un coût de traitement compétitif par rapport aux autres procédés</p>	<p>Pas de possibilité de traitement direct des margines</p> <p>Consommation importante d'oxygène</p> <p>Dilution nécessaire</p> <p>Temps requis sont élevés</p>	[23]
	Anaérobie				<p>Cas des pollutions organiques très concentrées</p> <p>Consommation en énergie et production des boues réduite</p> <p>Production de méthane</p>	<p>Prétraitement aérobie nécessaire pour réduire le taux de ces composés aromatiques (sensibilité des bactéries)</p>	[23]

POA	Ozonation	Prétraitement	20 à 30% DCO	Oxydant puissants Possibilité d'améliorer le procédés en utilisant UV pour une élimination de 97.7% des phénols	Pas d'oxydation complète Rendement ne dépassant pas les 20-30% (en cas de traitement unique) Seuls des rejets avec des valeurs de la DCO inférieures à 5,0 g/l peuvent être traités par ces techniques,	[23]
			phénols totaux à 97.5%			
POA	Procédés Fenton		Jusqu'à 70%	Convenable au traitement des effluents quel que soit la nature des contaminants Système économique et simple Temps d'élimination réduit 24h pour rendement 70%	La non sélectivité Seuls des rejets avec des valeurs de la DCO inférieures à 5,0 g/l peuvent être traités par ces techniques,	[23]
Combiné	UF/UV/H ₂ O ₂		100% de décoloration Exelent rendement en DCO ,COT	Décoloration complètes des margines Plus efficaces que le traitement biologique et oxydation par H ₂ O ₂ seul Temps d'élimination réduits	Dilution nécessaire avant le POA	[23]
			66,9 % DCO			[23]

oxydation avancée et traitement biologique		66,8 % polyphénol		Formation des substances plus toxiques que celles des margines (par OA dans certains cas) Seuls des rejets avec des valeurs de la DCO inférieures à 5,0 g/l peuvent être traités par ces techniques,	
coagulation et l'oxydation avancée		94-95% de DCO	Temps d'élimination réduits	Seuls des rejets avec des valeurs de la DCO inférieures à 5,0 g/l peuvent être traités par ces techniques,	[23]
		99 % PT			
Electrocoagulation combinée à la biométhanisation		Solution la plus adaptée en méditerranées	Production de biogaz Les poly phénols et certains autres produits toxiques (métaux lourds) sont éliminés. Les boues sont extraites et vont au compostage, les liquides sont acheminés vers le biométhaniseur		[50]

	coagulation floculation et la voie électrochimique		66 % à 73% DCO	<p>Les rejets liquides ainsi obtenus peuvent être directement déversés dans les cours d’eaux ou mélangés aux eaux urbaines pour être traités par les stations d’épuration sans risque de perturber le fonctionnement de ces dernières</p> <p>(92%), de chlorure (80%), des polyphénols (64%), et du (93%) de turbidité.</p>		<p>[52]</p> <p>[25]</p>
--	--	--	----------------	---	--	-------------------------

Conclusion

L’étude comparative des différents procédés de traitement des margines, principale rejet de l’industrie huilerie montre que

- ✓ Seul : le procédé biologique anaérobie est le plus efficace en terme de consommation d’énergie et sous-produits mais ce procédé nécessite un prétraitement d’où la nécessité de le combiner avec un autre procédé
- ✓ Combiné : Electrocoagulation combinée à la bio méthanisation est la solution la plus adaptée en méditerranées aussi UF/UV/H₂O₂ est le procédé le plus efficace et meilleure que le procédé biologique, le seul inconvénient est la contrainte de coûts.

3 - 2 L'industrie laitière

Procédés		Nature	Rendement	Avantages	Inconvénient s	Références
Physique	Membranaire	Osmose inverse	90 % de volume totale traité	<p>Concentrer la matière laitière pour valorisation</p> <p>Réduire la charge polluante rejetée</p> <p>Produire une eau épurée réutilisable sur le site de production</p> <p>Pas d'interventions de réactifs chimiques sources de pollution</p> <p>Fonctionnement et entretien aisés.</p> <p>Une eau très pure à la sortie</p>	<p>Dégradation des membranes</p> <p>Grande consommation d'énergie électrique</p>	[29]

Chimique		coagulation-décantation	Traitement	94 % MES	Plus efficace comme un prétraitement	Elimination de la pollution organique et azotée ne dépassant pas 40 % Nécessité de procéder à un traitement biologique complémentaire	[27]
				89 % PT			[28]
		Coagulation ou électrocoagulation	Prétraitement	99% turbidité	Grande efficacité		
				>90% DCO	Possibilité d'automatisation		
Biologique	aérobie	Lit bactérien		60%	Bonne rétention des boues Faible consommation d'énergie Fonctionnement simple Peu d'entretien et de contrôle Faible sensibilité à la variation de charges	Décantation nécessaire en aval et en amont Performances épuratoire limité souvent liées au dimensionnement Coûts d'investissement importants Grandes sensibilité au variation de températures Boues fermentescibles	[45]
		Filtre à sable		98%	Bonne nitrification Occupation au sol très faible par rapport au lagunage naturel	Sensibilité aux variations de températures et des conditions climatiques Colmatage	[45]

	bio filtre		65%		Engorgement du filtre, Pouvoir polluant élevé du concentrât résultant	[45]
	Lagunage		80 à 90%	Aucune demande d'énergie La non sensibilité à la variation de charges	Temps de séjours hydraulique élevé Grand volume de bassin Nécessité d'une aération forcée	[45]
	FPR Filtres planté de roseaux		>90%	Alimentation sans décantation préalable Réduction de couts d'investissement Meilleure nitrification par rapport aux filtres à sables	Le colostrum et le lait non commercialisé ne doivent pas et réinjecter dans ce dispositifs (colmatage)	
	SBR		99%	Adaptation aux fortes charges en carbone biodégradables Dépenses liées à l'installation du SBR sont plus avantageuses Plus performant par rapport aux autres procèdes biologiques	Coûts de fonctionnement sont défavorables (consommation d'énergie élevée). La séparation liquides solide ne se fait que par a décantation ce qui n'est pas toujours réalisé avec certain milieux de fermentations	[30], [45]

		BRM		96%	<p>Fonctionnement en continu (intérêt économique)</p> <p>La maîtrise de concentration de biomasse indépendamment de taux de dilution</p> <p>Meilleur contrôle et gestion des microorganismes et leur environnement</p> <p>Envisageable pour des charges volumiques très élevés, correspondant à des ouvrages de petites taille</p>		[45],
--	--	-----	--	-----	--	--	-------

Conclusion

L'étude comparative des différents procédés de traitement des rejets de l'industrie laitière montre que le Bioréacteur à Membrane (BRM) est le plus efficace pour le traitement des rejets de l'industrie laitière .Il permet en particulier grâce aux hautes concentrations cellulaires atteintes de fonctionner à forte charge volumique et de minimiser la production de boue.

Cela reste une estimation vue que le facteur le plus important le cout, n'est pas disponible dans la littérature.

3 - 3 L'industrie sucrière

Procédés		Nature	Rendement	Avantages	Inconvénients	Références
Physique	Adsorption			<p>Faible pollution générée dans le sol, l'air ou l'eau</p> <p>Nécessité réduite du personnel qualifié</p>	<p>Adsorbant relativement cher</p> <p>Coût de régénération élevé, voir l'impossibilité de sa réutilisation</p> <p>Faible élimination des substances non polaires</p> <p>Nécessité d'un prétraitement.</p>	[32]

	Electrodialyse	Traitement	88%	consommation d'eau réduite	Réduction du taux d'élimination de DCO pour un débit d'alimentation en eaux usées plus élevé procédé non sélectif membranes sensibles aux variations de débits, aux MES préfiltration nécessaire pour enlever les particules solides et les huiles ou graisses qui pourraient colmater la membrane coûts d'investissement élevés concentration des produits parasites mise en place impérative d'un rinçage statique	[33]
Anaérobie	UASB		96% DCO	Génération de 71% de biogaz	Fortes Dépendance de variations de températures	
	FCMR		68,7 %	Production de méthane	Temps de rétention plus élevé	[36]
	ASBR		79,7 %	Rendement plus élevé en méthanes		[36]

POA	Ozonation	Affinage	80% décoloration	Utilisation comme traitement tertiaire	Faible réduction	[32]
			15 à 25% de la DCO	Oxydant puissants Possibilité d'améliorer le procédés en utilisant UV	Pas d'oxydation complète Rendement ne dépassant pas les 15-25% (en cas de traitement unique) seuls des rejets avec des valeurs de la DCO inférieures à 5,0 g/l peuvent être traités par ces techniques,	
Combinés	Electro oxydation et oxydation chimique		98% de DCO	Élimination efficace des composés organiques	Efficacité de courant diminue au cours du traitement réaction parasite (formation de O ₂ moléculaire).	[51]
			99,5% de couleur			
	coagulation et la floculation		97% de DBO et de DCO	Utilisation réduite de la surface du sol.	Coût des coagulants et des floculants	[36]
		96% de la couleur	Adaptable à des variations brutales de charges polluantes. Automatisation de l'installation (si flux régulier en qualité)	Filière de prétraitement nécessitant un traitement en aval Paramétrage des dosages et des agitateurs.		
	PAC, FSBAR et Ozonation		96% décoloration		Cout relativement élevé	[36]
			81% DCO			

Conclusion

L'étude comparative des différents procédés de traitement des rejets de l'industrie sucrière montre que tous les procédés montrent une grande efficacité, combiné ou seul, la détermination de procédés le plus convenable nécessite donc une étude économique de chacun d'entre eux afin de déterminer le plus efficaces.

3 - 4 L'industrie de viande

Procédés		Nature	Rendement	Avantages	Inconvénients	Références	
Physique	Flottation d'air dissous		30 à 90% DCO	Flottation sans ajout de flocculant	Nécessite parfois l'ajout d'un coagulant	[52]	
			70 à 80% DBO	Les boues flottées ont une bonne siccité		[38]	
	Membranaire	Osmose inverse	86% DCO	Pas d'utilisation de réactifs chimiques	Dégradation des membranes	Grande consommation d'énergie électrique	
			50% DBO	Fonctionnement et entretien aisés.			
			97% TP	Bonne pureté de l'eau obtenue			
			90% TN				

Microfiltration	87à99% désinfection	Grande efficacité Bonne désinfection	Nécessité d'un prétraitement Colmatage
	90.63% DCO		
	45 % COT et TN		
Ultrafiltration	98% DBO	Aucun ajout de produit chimique	Nécessité d'un prétraitement
	95% DCO	Traitement alternatives efficaces	Altération rapide des membranes utilisées Renouvellement permanent des membranes
MBR	96% COT	Fonctionnement en continu (intérêt économique)	
	97% DCO	La maîtrise de concentration de biomasse indépendamment de taux de dilution Meilleur contrôle et gestion des microorganismes et leur environnement Envisageable pour des charges volumiques très élevés, correspondant a des ouvrages de petites taille	

Chimique	Coagulation-floculation	TP de 98%	Utilisation réduite de la surface du sol. Adaptable à des variations brutales de charges polluantes. Automatisation de l'installation (si flux régulier en qualité).	Coût des coagulants et des floculants. Filière de prétraitement nécessitant un traitement en aval Paramétrage des dosages et des agitateurs.	[52]
		80 % de la DBO5 et de la DCO			[40]
50 % des coliformes	[41]				
Chimique	Electrocoagulation	80% à 88% DCO	La biodégradabilité des effluents traités est améliorée suite à la faible salinité du milieu L'ajout de substances chimiques n'est pas nécessaire Elimination totale des bactéries et des virus. Réduction du temps de traitement. Possibilité d'automatisation	Consommation et coût des électrodes Perte de temps dû à l'arrêt du procédé pour maintenance Faible conductivité de l'eau Formation des dépôts sur les électrodes	[50]
		DBO5 83% à 86%			[42]
		100% désinfection			
Biologique	aérobie	Boues activées	Technique adaptable à toutes les échelles de traitement. Automatisation de l'installation.	Nécessité d'un entretien rigoureux Coût de l'investissement initial élevé Durée de mise en route parfois importante.	[52]
		97 % DCO			
		81 à 95 % TN			
	85 à 89 %				
SBR	95% DCO	Rendement épuratoire élevé pour un coût raisonnable	Sensibilité aux variations de débit des effluents		
	98% TP				

Anaérobie			97% TN	Coûts d'investissement réduits car les dépenses en génie civil sont limitées relativement à une station classique Maintenance réduite Réduction des boues d'épuration Faible débit de boues prélevées relativement à des installations de boues activées		
	Réacteur séquentiel anaérobie		94 % DCO	Rendement plus élevé en méthanes		
	Lagune anaérobie		90% DCO	Bonne élimination des bactéries. Boues peu fermentescibles. Très faible consommation énergétique, voire nulle pour le lagunage naturel Coûts d'exploitation faibles	Emprise au sol importante. Contraintes dues à la nature et à l'étanchéité du sol Risque d'odeur en cas de mauvais fonctionnement	[52]
	Filtre anaérobie		96 % DCO	Grande efficacité	Dépendance de variation de température	
	UASB		94% DCO	Génération de biogaz	Forte dépendance de variations de températures	

POA	Ozonation		DCO 10,70 % DBO 23,60%,	Utilisation comme traitement tertiaire Oxydant puissants Inactivation totales des micro-organismes	Faible réduction Pas d'oxydation complète Rendement ne dépassant pas les 15-25% (en cas de traitement unique) Seuls des rejets avec des valeurs de la DCO inférieures à 5,0 g/l peuvent être traités par ces techniques,	
	UV / H2O2		95% DCO	Source importante et directe de radicaux hydroxyles ; 100% de rendement quantique de la photolyse.	Transport, stockage et manipulation de H ₂ O ₂ Efficacité et durée de vie des lampes UV limitée Faible coefficient d'absorption de H ₂ O ₂ Production de Sous-produits inconnus.	[51]

Combiné	Boue activée /osmose inverse		DCO (99,80%) DBO (99,83%) TP (99,76%) TN (99,77%).	Grande efficacité d'épuration	Cout relativement élevé Cout de l'investissement initial élevé Durée de mise en route parfois importante Dégradation des membranes Grande consommation d'énergie électrique	
	Coagulation/adsorption		92 % DCO	/	/	
	Coagulation/électrocoagulation		99% DCO et DBO	/	/	

Conclusion

L'étude comparative des différents procédés de traitement des rejets d'abattoirs et l'industrie de viande montre que

- ✓ Seul : le procédé biologique anaérobie est le plus efficace en terme de consommation d'énergie et sous-produits mais ce procédé nécessite un prétraitement d'où la nécessité de le combiner avec un autre procédé dans certains cas
- ✓ Combiné : Boue activée /osmose inverse est le procédé le plus efficace et meilleur que le procédé biologique le seul inconvénient est la contrainte de coûts



ENP 2017

CONCLUSION GENERALE



Conclusion général

De nombreuses études ont été consacrées aux suivis et aux traitements des rejets des industries agroalimentaires à travers le monde

L'Algérie fait partie des pays où ces rejets sont mal gérés, et à notre connaissance, il n'existe pas, de suivi en continu de ces rejets, mis à part quelques travaux de recherche universitaire tel que les travaux effectués à l'ENP sur les margines et les rejets de l'industrie laitière.

C'est en continuité de ces travaux et afin de mieux enrichir nos connaissances sur ce problème que nous avons réalisé cette étude sur les méthodes de traitements de ces rejets et la détermination de procédés le plus efficace

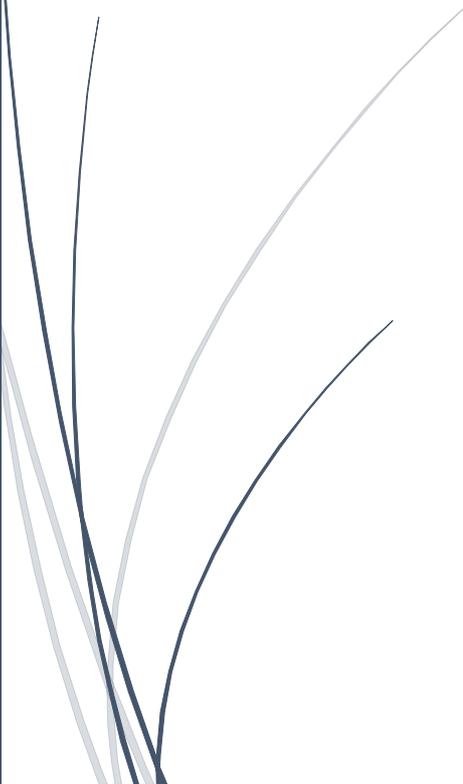
Les résultats obtenus montrent, que généralement les procédés biologiques restent les plus efficaces. Ces derniers nécessitent un prétraitement et une combinaison avec d'autres procédés.

Dans notre cas, il s'est avéré difficile de déterminer précisément les procédés le plus efficaces pour le traitement du rejet de l'industrie étudiée en vue de l'absence des études technico économiques de ces derniers.



ENP 2017

BIBLIOGRAPHIE



Bibliographie

- [1] cntppdz, «Impact Environnemental de l'Activité Industrielle,» [En ligne]. [consulté le 13 mars 2017]. Disponible sur le site du Centre Nationale des Technologies et de la Production Propre :
- Disponible sur <http://www.cntppdz.com/index.php?page=impact-environnemental-du-a-lactivite-industrielle>
- [2] T. Sihem, Technopoles Agroalimentaires en Algérie –Perspectives et Défis, université d'Alger 3, 2014. [consulté le 12 mars 2017].
- Disponible sur
l'adresse:http://biblio.uco.fr/sites/biblio.uco.fr/files/fichierspdf/normes_biblio_guide_afnor.pdf
- [3] S. Vitolo, L. Petarca et B. Bresci, « Treatment of olive oil industry wastes. Bioresource Technology.[En ligne]. 67, 129–137,» 1999, [consulté le 05mars 2017].
- Disponible sur l'adresse: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(98\)00110-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00110-2).
- [4] A, Ranalli, «The effluent from olive mills : Proposals for re-use and purification with reference to italian legislation,» *Olivae* [En ligne],(38): 26-40 1991.
- [5] M. Hadmi, «Future prospects and constraints of alive mill waste waters use and treatment,» A. Review. *Bioprocess Engineering*[En ligne], 8 (1993a).pp. 209-214. [consulté le 05 mars 2017].
- Disponible sur l'adresse: <https://doi:10.1007/BF00369831>
- [6] (CAR/PP), Centre d'Activités Régionales pour la Production Propre, «Prévention de la pollution dans la production d'huile d'olive,» 2000.[En ligne]. [consulté le 13 mars 2017].
- Disponible sur le site <https://www.cipn.es>
- [7] L, Di-Giovacchino; Mascolo; L., Seghitti ,«Sulle caratteristiche telle delle acque divegetazione delle olive. *La Rivista delle Sotanze Grasse.*,» 1988.
- [8] M, Hamdi; J.L, Garcia; R., Ellouz,«Integrated biological process for olive mill wastewaters treatment.,» *Bioprocess. Eng.* [En ligne] (1992) 8: 79.
- Disponible sur doi:10.1007/BF00369268
- [9] H. AISSAM, Etude de la biodégradation des effluents des huileries (margines) et leur valorisation par production de l'enzyme tannase, Fès : Laboratoire de

Microbiologie de l'Environnement Dept de Biologie Fac. Sc. DEM B.P 1796 Fès 30000, 2003.

- [10] A, Nefzaoui, «Contribution à la rentabilité de l'oléiculture par la valorisation optimale des sous-produits.» *L'économie de l'olivier*. [En ligne] Paris : CIHEAM, 1988. p. 153-173. (Options Méditerranéennes : Série Etudes; n. 1988-V). Economie de l'Olivier, 1987/01/20-22, Tunis (TUN)[consulté le 13 mars 2017].
Disponible sur l'adresse : <http://om.ciheam.org/om/pdf/s18/CI010905.pdf>
- [11] L, Di-Giovacchino, « L'influence des systèmes d'extraction, sur la qualité de l'huile d'olive,» Olivea, 1996.
- [12] A, Ramos-Cormenzana, «Physical, chemical, microbiological and biochemical characteristics of vegetation water.,» Sevilla-Spain. [En ligne], pp. 41-60, 1986.
- [13] Fiestas Ros de Ursinos, J.A., Borja R, « Use and traetement of olive mill wastewater :Current situation and prospects in Spain,» Grasas y Aceites [En ligne], 2, 101-106., 1992. Disponible sur l'adresse: <http://dx.doi.org/10.3989/gya.1992.v43.i2.1182>
- [14] B, Lutwin; J.A, Fiestas Ros De Ursinos; K, Geissen; M, Kachouri; E, Klimm; G, De Ladorde Monpezat; D., Xanthoulis, Les expériences méditerranéennes dans le traitement et l'élimination des eaux résiduaires des huileries d'olives, Editions (GTZ) GmbH, Eschborn. République Fédérale d'Allemagne, 1996.
- [15] S. Naïma, Traitement des effluents des huileries d'olive par oxydation au H₂O₂, 2008.
- [16] C. V MORR, E. Y. W HA, protein concentrates and isolates: processing and Functional properties., Critical reviews in food science and nutrition, [En ligne], 1993;33(6):431-76
Disponible sur DOI: [10.1080/10408399309527643](https://doi.org/10.1080/10408399309527643)
- [17] L. Samia, Valorisation des rejets de l'industrie laitière par techniques membranaires (Ultrafiltration), 2008.
- [18] M. Rais et A. Sheoran, «Treatment of Sugarcane Industry Effluents: Science & Technology issues,» Journal of Engineering Research and Applications [En ligne] 2248-9622, Vol. 5, Issue 1(Part 2), January 2015, pp.11-19
Disponible sur www.ijera.com.
- [19] G. PEIFFER, impact environnemental des effluents d'abattoirs :actualité technique et réglementaire, Thèse d'exercice, Université Paul Sabatier - Toulouse [En ligne] III, 2002, 70 p. 2002.
Disponible sur <http://oatao.univ-toulouse.fr/912/>

- [20] «Initiation au système de management environnemental,» [En ligne]. Available: <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD9598/travaux/optsee/bei/nome14/n14p03.htm>.
- [21] E. OUABOU, A. ANOUAR, S. HILALI, «Traitement de la margine brute d'huile d'olive par distillation,» Journal of Applied Biosciences [En ligne] 79:6867 – 6872, 2014.
- [22] O. Yahiaoui, H. Lounici, A. Pauss et N. Mameri, «traitement des margines par un procédé couplant l'ultrafiltration et un reacteur bipolaire».
- Disponible sur <http://www.ummt0.dz/IMG/pdf/articlemarginescorrige.pdf>
- [23] H. BEKDA, traitement des margines des huileries d'olive par les procédés d'oxydation avancée basés sur le système Fenton, THESE DE DOCTORAT Spécialité: Chimie des matériaux [En ligne] TIZI OUZOU, 2014.
- Disponible sur : http://www.ummt0.dz/IMG/pdf/IBOUKHOULEF_Hamida_Ep_BEKDA.pdf
- [24] N. Sadif, M. Mountadar, F. Hanafi, «Traitement des margines par électrocoagulation,» Unité de chimie analytique et génie de l'environnement du Laboratoire de l'eau et de l'environnement .DÉCHETS - REVUE FRANCOPHONE D'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE - N° 50 - 2e TRIMESTRE, 2008.
- Disponible sur : http://odel.irevues.inist.fr/dechets-sciences-techniques/docannexe/file/1448/2_sadif.pdf
- [25] G. Sbai et M. Loukili, «traitement des margines par un procédé couplant la coagulation floculation et la voie électrochimiques,» European Scientific Journal [En ligne] March 2015 edition vol.11, No.9 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431, 2015.
- Disponible sur <http://eujournal.org/index.php/esj/article/viewFile/5286/5095>
- [26] S. Lhanafi, R. Aba-aaki, S. Et-taleb, R. Elhaouti, M. Abbaz, M. Ez-zahery, H. El bari et N. El alem, «Caractérisation des effluents laitiers en vue de leur valorisation : Cas de lactosérum». J. Mater. Environ. Sci. [En ligne] 5 (S2) (2014) 2489-2494 ISSN: 2028-2508
- Disponible sur: https://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol5/vol5_NS2/24-JMES-Lhanafi.pdf
- [27] H. Hamdani, M. Chennaoui et M. Mountadar, «Caractérisation et traitement par coagulation-décantation d'un effluent de laiterie». [En ligne] 84 3 (2004) 317-328
- Disponible sur: <https://doi.org/10.1051/lait:2004005>

- [28] A. Aitbara, S. Hazourli, S. Boumaza, Soraya Touahria et M. Cherifi, «Etude comparative d'efficacité de prétraitement des effluents d'une laiterie industrielle par coagulation-floculation et électrocoagulation en dynamique,» *ev. Sci. Technol.*, [En ligne] Synthèse 26: 103 – 111 (2013) .
- [29] V. Mickaël, B. Béatrice et C. Bernard, «traitement d'eaux de procédés de laiterie : production d'eau réutilisable par osmose inverse». Thèse de doctorat Chimie Rennes [En ligne]
 Disponible sur: <http://www.theses.fr/2004REN10112>
- [30] H. YAHYI, N. MADI et K. MIDOUNDE., «traitement biologique séquentiel d'effluents agro alimentaires,» *Revue scientifique et technique LJEE* [En ligne] N°21 et 22. Spécial colloque CIREDD'2013.
- [31] J. B. DOLLE, «mise en point des procédés de traitement de lactosérum et effluent des fromageries». Rapport final(dossier n°00/15) juin 2013
- [32] P. Asaithambi et M. Matheswaran, «Electrochemical treatment of simulated sugar industrial effluent: Optimization and modeling using a response surface methodology,» *Arabian Journal of Chemistry* [En ligne] (2016) 9, S981–S987
 Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.arabjch.2011.10.004>.
- [33] M. SUNITHA, «Sugar industry wastewater treatment using adsorption,» *Jr. of Industrial Pollution Control* 25 (2) (2009) pp 109-112.
 Disponible sur: <http://www.icontrolpollution.com/articles/sugar-industry-wastewater-treatment-using-adsorption-109-112.pdf>
- [34] N. Tewari, V. K. Verma et J. P. N. Rai, «Comparative evaluation of natural adsorbent for pollutants removal from distillery spent wash,» *Journal of scientific and industrial research* [En ligne] 65(11):935-938 · November 2006.
 Disponible sur:
[http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/4960/1/JSIR%2065\(11\)%20935-938.pdf](http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/4960/1/JSIR%2065(11)%20935-938.pdf)
- [35] A.S.Tanksali, «Treatment Of Sugar Industry Wastewater By Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor,» *International Journal of ChemTech Research*. [En ligne] Vol.5, No.3, pp1246-1253.April-June2013
 Disponible sur: [http://www.sphinxesai.com/2013/vol_5_3/pdf/CT=20\(1246-1253\)IPACT.pdf](http://www.sphinxesai.com/2013/vol_5_3/pdf/CT=20(1246-1253)IPACT.pdf)
- [49] Nouara, YAHIAOUI. Etude de l'adsorption des margines d'olive sur hydroxyapatite et charbon actif, magister en génie chimique. Tizi

- [36] E. Alkaya et G. k. N. Demirer, «Anaerobic-Fed and Sequencing-Batch Treatment of Sugar-Beet Processing Wastes: A Comparative Study». *Water Environ Res.*[En ligne] 2011 Mar;83(3):247-55.
Disponible sur: <http://users.metu.edu.tr/goksel/environmental-biotechnology/pdf/13.pdf>
- [37] A. Tiwaria et O. Sahub, «Treatment of food-agro (sugar) industry wastewater with copper metal and salt: Chemical oxidation and electro-oxidation combined study in batch mode,» *Water Resources and Industry* [En ligne] 17 (2017) 19–25.
Disponible sur: DOI: 10.1016/j.wri.2016.12.001
- [38] C. Fernando, Bustillo-Lecompte et M. Mehrvar, «Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances,» *Journal of Environmental Management* [En ligne], Volume 161, 15 September 2015, Pages 287-3022015.
Disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.07.008>
- [39] O. Amuda et A. Alade, «Coagulation/flocculation process in the treatment of abattoir wastewater,» *Desalination*, [En ligne] Volume 196, Issue 1, 2006, Pages 22-31, ISSN 0011-9164.
Disponible sur: <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2005.10.039..>
- [40] A. KHENNOUSSI, M. CHAOUCH, A. CHAHLAOUI et M. MERZOUKI, «traitement par le chlorure ferrique d'effluents d'abattoir,» *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 2011, 150(1-4), 69-80.
- [41] M. tariq, M. Ahmad, S. Siddique, A. Waheed, T. Shafiq et K. M.H, Optimization of coagulation process for the treatment of the characterized slaughterhouse wastewater,[En ligne] Volume : 55 Issue : 1 Page : 43-48. 2012.
- [42] M. ASSELIN, utilisation d'électrocoagulation dans le traitement des eaux usées industrielles chargées en matière organique. [En ligne] Mémoire. Québec, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, Maîtrise en sciences de l'eau, 282 p /2007.
Disponible sur: <http://espace.inrs.ca/id/eprint/437>
- [43] K. Abdelaziz, A. Nour-eddine et C. Abdelkader, «effet bactéricide et épuratoire de traitement électrochimique sur l'effluent d'abattoir de viande rouge,» *European Scientific Journal* December 2013 edition vol.9, No.36 .
Disponible sur: <http://paperity.org/p/59243382/effet-bactericide-et-epuratoire-de-traitement-electrochimique-sur-leffluent-dabattoir-de>.
- [44] V. J. VIOLLEAU, «déméralisation par électrodialyse en présence d'un complexant application au lactosérum,» *Laboratoire de Chimie Agro-Industrielle UMR INRA INP*. 1999.

- [45] S. CASTILLO, étude d'un procédé compacte de traitement biologique d'effluent laitier,[En ligne] Doctorat en Sciences de la vie et de l'environnement .Toulouse, 2005.
- Disponible sur:<http://thesencours.imist.ma/handle/123456789/52675>
- [46] HAMPANNAVAL et SHIVAYOGIMATH, «Treatment Of Sugar Industry Wastewater By Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor at ambient temperature,» international journal of environmental sciences ISSN 0976–4402 Volume 1, No 4, 2010.
- Disponible sur: <http://www.ipublishing.co.in/jesvol1no12010/EIJES2019.pdf>
- [47] S, Singh et A. K. Dikshit, «Decolourization of Polyaluminium Chloride and Fungal Sequencing Batch Aerobic Reactor Treated Molasses Spentwash by Ozone,» American Journal of Environmental Engineering 2012, 2(3): 45-48.
- [48] T. Myra¹, H. David¹, T. Judith¹, Y. Marina, B. J. Ricky et E. Reynaldo, «Biological treatment of meat processing wastewater using anaerobic sequencing batch reactor (ASBR),» Vol. 4(3), 66-75, March 2015.
- Disponible sur: <http://www.isca.in/IJBS/Archive/v4/i3/13.ISCA-IRJBS-2015-006.pdf>
- Ouzou 2012.
- [50] H. BOUDOUKHANA. Impacts des margines sur les eaux de oued bouchat(Wilaya de Skikda);Mémoire de Magister en Chemie. SKIKDA : s.n., 2008.
- [51] Zaviska, François, et al.Procédés d'oxydation avancée dans le traitement des eaux et des effluents industriels :Application à la dégradation des polluants réfractaires Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 22, n° 4, 2009, p. 535
- [52] BROUD, Patrick. Panorama des techniques de traitement des Déchets d'Assainissement. 2009.
- Disponible su <http://www.fnsa-vanid.org/docs/fnsa/publications/guide-traitement/traitement-des-dechets-assainissement.pdf>